

AGRI CUL DE TURA PRE CISÃO

NO
Rio Grande
do Sul



Organizadores:

Antônio Luis Santi

Enio Giotto

Elódio Sebem

Telmo Jorge Carneiro Amado

Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul

Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul

Organizadores:
Antônio Luis Santi
Elódio Sebem
Enio Giotto
Telmo Jorge Carneiro Amado

CESPOL
Santa Maria, RS / 2016

© dos autores
1ª edição 2016

Editoração: CESPOL Publicações

Revisão dos originais: Antonio Luis Santi; Elódio Sebem; Enio Giotto;
Telmo Jorge Carneiro Amado

Diagramação: Elódio Sebem

Arte Capa: Quelen Gomez de Souza - PG Comunicação Visual

Imagen Capa: <http://pt.freeimages.com/>

Impressão: Triunfal Gráfica e Editora (www.graficatriunfal.com.br)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

A278 Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul / organizadores: Antônio Luis Santi... [et al.]. – 1. ed. – Santa Maria : CESPOL, 2016.
309 p. ; il. ; 25 cm.

Inclui bibliografia.
ISBN 978-85-92745-02-8

1. Agricultura de precisão – Rio Grande do Sul. 2. Manejo de sítio específico. 3. Geoestatística. 4. Espacialização. I. Santi, Antônio Luis. II. Sebem, Elódio. III. Giotto, Enio. IV. Amado, Telmo Jorge Carneiro. V. Cooperativa Escola dos Estudantes do Colégio Politécnico da UFSM.

CDU 631.17

Bibliotecária responsável: Bárbara leger Vianna, CRB 10/1410

Conteúdo

CAPÍTULO 1	9
Projeto Aquarius – principais contribuições e resultados	
Telmo Jorge Carneiro Amado, Tiago De Gregori Teixeira, Tiago de Andrade Neves Hörbe, Rai Augusto Schwalbert, Geomar Mateus Corazza, Cristiano Paim Buss, Leonardo Kerber, Bernardo da Silva Tisot, Willian Alex Wagner	
CAPÍTULO 2	27
Projeto APcoop: Agricultura de Precisão no Sistema Cooperativo do Rio Grande do Sul	
Jackson Ernani Fiorin, Telmo Jorge Carneiro Amado	
CAPÍTULO 3	59
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão	
Elódio Sebem	
CAPÍTULO 4	79
Amostragem de solo na agricultura de precisão	
Maurício Roberto Cherubin, Antônio Luis Santi, Osmar Henrique de Castro Pias, Mateus Tonini Eitelwein, Claudir José Basso, Lisandra Pinto Della Flora, Júnior Damian Melo	
CAPÍTULO 5	99
Mapeamento da Produtividade de Grãos e Utilização dos Mapas	
Mateus Tonini Eitelwein, Antônio Luis Santi, Enio Giotto, Júnior Melo Damian, Maurício Roberto Cherubin, Geomar Mateus Corassa, Claudir José Basso, Lisandra Pinto Della Flora	
CAPÍTULO 6	121
Análise econômica do uso da agricultura de precisão	
Alexandre Russini, Maurício Roberto Cherubin, Guilherme Jost Beras	
CAPÍTULO 7	137
Aplicação de nitrogênio em tempo real: modelos e aplicações	
Christian Bredemeier, André Luis Vian, João Leonardo Fernandes Pires	

CAPÍTULO 8	159
Tecnologias para detecção e controle em sítio-específico de plantas daninhas	
Luan Pierre Pott, Elódio Sebem, Telmo Jorge Carneiro Amado	
CAPÍTULO 9	189
Benefícios do tráfego controlado de máquinas no Rio Grande do Sul	
Vitor Cauduro Girardello, Telmo Jorge Carneiro Amado, Paulo José Alba, Tiago De Gregori Teixeira	
CAPÍTULO 10	213
Levantamento de plantas daninhas na cultura da soja com as ferramentas da Agricultura de Precisão	
Antônio Luis Santi, Diecson Ruy Orsolin da Silva, Sérgio Daniel Bona, Junior Melo Damian , Dejales Fiorese, Felipe Arthur Baron, Diandra Pinto Della Flora	
CAPÍTULO 11	233
Definição de zonas de manejo utilizando “ <i>multi-layers</i> ” e sensoriamento “ <i>on-the-go</i> ”: Definições e usos	
Raí Augusto Schwalbert, Geomar Mateus Corassa, Telmo Jorge Carneiro Amado	
CAPÍTULO 12	251
Manejo de precisão: Planos de Manejo Inteligentes e estratégias multi-plantas	
Antônio Luis Santi, Diego Armando Amaro da Silva, Geomar Mateus Corassa, Cláudir José Basso, Júnior Melo Damian, Lisandra Pinto Della Flora, Osmar Henrique de Castro Pias, Leila Daiane Almeida dos Santos	
CAPÍTULO 13	285
O uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) na agricultura	
Júnior Melo Damian, Michele Fornari, Antônio Luis Santi, Osmar Henrique de Castro Pias, Diego Armando Amaro da Silva	

APRESENTAÇÃO

A Agricultura de precisão utiliza conceitos antigos de manejo localizado das lavouras e a adoção de técnicas modernas de posicionamento georreferenciando no campo. Ela permite o manejo localizado de solo e planta e a aplicação dos insumos agrícolas nos locais mais adequados. A idéia é fazer a coisa certa, no local adequado, na hora certa e da forma mais eficiente possível.

O livro “Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul” não pretende esgotar o assunto e tampouco tem a pretensão de mostrar tudo que está sendo feito nesta área no estado, mas sim disponibilizar aos interessados os principais assuntos que estão sendo pesquisados nas Instituições de Ensino e Pesquisa envolvidas.

Os assuntos abordados envolvem os projetos Aquarius e APCoop, a amostragem de solo para agricultura de precisão e os problemas decorrentes de falhas neste processo, o mapeamento da produtividade de grãos e a utilização dos mapas gerados pelos sensores de colheita. A análise econômica do uso da agricultura de precisão forma um capítulo muito interessante para fornecer subsídios aos pretendentes a adotar as tecnologias associadas.

Modelos matemáticos e de aplicação de nitrogênio em tempo real trazem uma abordagem técnica para as vantagens de sua utilização, da mesma forma que o capítulo sobre tráfego controlado de máquinas nas lavouras do estado. O estudo localizado das plantas daninhas é abordado em dois capítulos, um mais geral que aborda as tecnologias envolvidas para a detecção e controle em sítio-específico e outro na cultura da soja.

O assunto zonas de manejo agrícola se encontra contemplado no artigo que trata da utilização de diversos planos de informação e sensoriamento remoto. Relacionado a isso a obtenção de dados remotamente é abordado no capítulo sobre a utilização de aeronaves remotamente pilotadas na agricultura.

Por fim, uma abordagem de agricultura que procure realizar planos de manejo com o uso de diversas espécies vegetais para a melhoria da fertilidade do solo é apresentada.

Gostaríamos agradecer imensamente ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento pelos recursos financeiros destinados a impressão de 1.000 exemplares da obra.

Esperamos que esta obra contribua para uma visão mais abrangente do assunto e que seja um incentivo aos pesquisadores que trabalham na área.

Que todos tenham uma boa leitura.

Organizadores.

CAPÍTULO 1

Projeto Aquarius – principais contribuições e resultados

Telmo Jorge Carneiro Amado¹, Tiago De Gregori Teixeira^{2,3}, Tiago de Andrade Neves Hörbe^{2,4}, Rai Augusto Schwalbert^{2,5}, Geomar Mateus Corazza^{2,6}, Cristiano Paim Buss⁷, Leonardo Kerber⁸, Bernardo da Silva Tisot⁹, Willian Alex Wagner¹⁰

Resumo

O Projeto Aquarius tem por objetivo a pesquisa, desenvolvimento, inovação e extensão em agricultura de precisão. Trata-se de um projeto multi-institucional com participação de indústria-cooperativa-universidade-produtores agrícolas no qual buscava-se implantar o ciclo completo da agricultura de precisão. Ao longo de dezesseis anos de existência serviu para a validação/desenvolvimento de muitas tecnologias e equipamentos sempre avaliados em talhões pertencentes aos produtores agrícolas. Com isto, as adaptações, ajustes e aperfeiçoamentos necessários nas tecnologias e equipamentos inovadores foram feitas em um curto espaço de tempo. O projeto aquarius sempre foi receptivo as inovações tecnológicas que alterassem processos e rotinas visando dotar de maior eficiência, maior retorno econômico e menor impacto ambiental a atividade agrícola. Também foi muito importante para a formação de recursos humanos e a geração de artigos científicos, informes técnicos, palestras, reportagens, participação em feiras agropecuárias entre outros. Além de comprovar a viabilidade técnica e econômica da agricultura de precisão, o projeto foi um referencial para agricultores, técnicos e estudantes. As tecnologias de agricultura de precisão sempre foram aplicadas em conjunto e de forma complementar a semelhança do que ocorre nas propriedades agrícolas.

¹ Professor Titular, UFSM, Departamento de Solos/ Universidade Federal de Santa Maria, Campus sede. Av. Roraima nº 1000, Santa Maria – RS. E-mail: florestatel@hotmail.com

² Pós-graduando. UFSM - PPGCS/ Universidade Federal de Santa Maria, Campus sede. Av. Roraima nº 1000, Santa Maria – RS.

³ tiagod.teixeira@gmail.com

⁴ tiagohorbe@hotmail.com

⁵ rai.schwalbert@hotmail.com

⁶ geomarmateus@hotmail.com

⁷ Engenheiro/Setor de pesquisa – Stara, Avenida Stara, 519 - Caixa Postal 53, Não-Me-Toque – RS. E-mail: cristiano@stara.com.br

⁸ Analista de Produção – Cotrijal, Rua Júlio Graeff, 01. Não-Me-Toque – RS.. E-mail: kerber@cotrijal.com.br

⁹ Agrônomo de campo - Dupont Pioneer, Passo Fundo – RS. E-mail: bernardo.tisot@pioneer.com

¹⁰ Engenheiro/Setor de pesquisa – Stara, Avenida Stara, 519 - Caixa Postal 53, Não-Me-Toque – RS. E-mail: william@stara.com.br

Palavras-chave: Agricultura de precisão, mapas de colheita, mapas de fertilidade, taxa variada

Aquarius Project - main contributions and results

Abstract

The Aquarius Project aims the research, development, innovation and extension in precision farming. This project is composed by different players of agribusiness as industry-farm cooperative-university-farmers aiming the full precision agriculture cycle. Elapsed sixteen years the project was a keystone to development/validation of many technologies and machinery that were evaluated in croplands. As a consequence, the time required to improvement and adjustment was shortened. The Aquarius project always was open to technological innovations that change processes and routines aiming increase the efficiency, economic return and environmental protection. The project also was important to educate technical staff and to generate research articles, technical articles, speech, demonstration in farm expo, social media interviews among others. Besides, it shows the economic and technical viability of precision agriculture it was a milestone to farmers interested in innovation. The technologies also were applied in conjunct in a complementary way with a holistic view of the production system as verified in croplands.

Keywords: fertility maps, harvest maps, precision agriculture, precision farming, variable rate

1.1 Histórico

O Projeto Aquarius teve seu início ano 2000 quando as experiências com adoção em escala da agricultura de precisão eram resumidas aos países desenvolvidos como Estados Unidos, Alemanha, Inglaterra e Austrália. Na América do Sul, as experiências com a Agricultura de Precisão eram restritas a Argentina e algumas escassas no Brasil Central e em São Paulo. Porém, restritas a Universidades e um número reduzido de propriedades.

No ano de 2000 a produtividade média de soja no RS foi de 1700 kg ha⁻¹ (28,3 sc ha) e de milho foi de 2400 kg ha⁻¹ (40 sc ha). Atualmente, a produtividade de soja se aproxima dos 3000 kg ha⁻¹ e do milho foi de 5600 kg ha⁻¹ (Amado et al., 2015). Portanto, o Projeto Aquarius inseriu-se em contexto de modernização da agricultura e profissionalização dos agricultores.

O principal objetivo do projeto era a implantação da agricultura de precisão através da criação de áreas piloto nas quais as tecnologias disponíveis seriam aplicadas. Através de cases de sucesso esperava-se que outros agricultores se mostrassem interessados pela nova tecnologia. Na época existia uma carência de projetos de pesquisa que fossem de longa duração, que incorporasse gradualmente as tecnologias a medida que fossem geradas e que fosse multidisciplinar. Por ser uma área de intensa inovação, o projeto deveria ser dinâmico e flexível. Entendia-se que mais que avaliar isoladamente cada tecnologia, dever-se-ia investigá-las de forma conjunta e complementar.

Anteriormente, ao Projeto Aquarius a Serrana Fertilizantes já realizava no Estado amostragem de solo e geração de mapas temáticos de atributos químicos, evidenciando elevada variabilidade espacial nas lavouras gaúchas. Porém, a fertilização a taxa variável visando a correção destes desequilíbrios da fertilidade ainda foi muito restrita.

A Stara Sfil juntamente com a Massey Ferguson, lideraram a criação do Projeto Aquarius em Não-Me-Toque - RS. No ano 2000 os dois talhões, área da Lagoa (132 ha) e Schmidt (124 ha) localizados na Fazenda Anna foram escolhidos para serem as áreas experimentais. Estes talhões passaram a ter acompanhamento contínuo, sendo a base para a realização de vários trabalhos de pesquisa que resultaram em dissertações e teses de doutorado da UFSM. Os agricultores pioneiros foram Fernando e Roberto *Stapelbroek*, onde Fernando conheceu a tecnologia durante uma viagem nos Estados Unidos realizada há alguns anos.

O tamanho dos talhões escolhidos eram representativas do tamanho médio das áreas de cultivo na região do Alto Jacuí desmitificando que a agricultura de precisão só seria viável para grandes propriedades. Ainda, o resultado financeiro das intervenções fazia parte do caixa dos proprietários, não possibilitando que uma prática que não trouxesse retorno fosse adotada por longo prazo. Este fato demandou que as tecnologias fossem criteriosamente avaliadas. Assim, na sua gênese o projeto seguiu a estratégia de pesquisa conduzida na propriedade agrícola. Este fato foi muito importante para que os ajustes necessários nas novas tecnologias fossem feitos em curto espaço de tempo e permitiu que a indústria se aproximasse dos produtores.

Quando da criação do Projeto Aquarius, a tecnologia para AP era importada de países desenvolvidos, com custo elevado, com manuais escritos em inglês e muitas vezes não adaptada as condições da agricultura brasileira (potência de máquinas, presença de cabine para proteção de computadores de bordo, comunicação entre equipamentos entre outros). Também havia ceticismo se os agricultores brasileiros seriam capazes de incorporar a complexa tecnologia que era disponibilizada, uma vez que o nível de escolaridade dos operadores rurais era restrito. Para tanto, optou-se por estimular os agricultores vinculados ao projeto a adquirirem as novas máquinas e tecnologias, de modo que a administração das áreas continuava com os produtores agrícolas em um processo de aprender-fazendo.

No ano 2000 as duas principais tecnologias disponíveis para a Agricultura de Precisão eram a amostragem de solo georreferenciada visando a elaboração de mapas temáticos de atributos de solo e o mapa de colheita. Um dos desafios do projeto era aplicar o ciclo completo da agricultura de precisão composto de diagnóstico, intervenção localizada e avaliação do resultado obtido orientando um novo ciclo de intervenções. Assim, optou-se na área da Schmidt iniciar a agricultura de precisão com base no mapa de colheita e amostragem de solo dirigida. Enquanto na área Lagoa, as atividades se iniciaram com base no

mapa de atributos de solo baseado em amostragem georreferenciada com 1 amostra composta a cada cinco ha utilizando um quadriciclo adaptado com GPS e coletor de solo. Em ambas as estratégias utilizou-se a taxa variável de fertilizantes e corretivos.



Figura 1 Outdoor do Projeto Aquarius identificando a área Schmidt localizada as margens da RS-142 que liga os municípios de Não-Me-Toque a Victor Graeff.

1.2 Principais Resultados

O primeiro mapa de colheita gerado foi para a cultura do milho, com sensor de produtividade acoplado a uma colheitadeira Massey Ferguson. A coleta dos registros de produtividade georreferenciados na 2000/01 revelou a elevada variabilidade espacial da produtividade, variando de 2.300 a 12.400 kg ha⁻¹, com média geral da área de 8.400 kg ha⁻¹. O resultado foi surpreendente e já indicava que a presença de uma zona de baixa produtividade estava comprometendo o desempenho do milho na área.

Na área Lagoa foram realizadas as primeiras fertilizações a taxa variada simplificada para a safra 2001/02, através do equipamento distribuidor ZAM 1500 Amazon (com tecnologia Alemã, Figura 2). No país não haviam equipamentos que possibilassem fazer a leitura da prescrição de fertilizantes, e variar a dose automaticamente a partir da localização na área. As fontes utilizadas foram Superfosfato Simples (SFS – P₂O₅ 18%) e Cloreto de Potássio (KCl – K₂O 60%), cada fertilizante foi aplicado separadamente. Desta forma foi realizada a primeira intervenção a taxa variada simplificada de SFS e KCl, e consistia na variação de 3 a 5 doses dos fertilizantes. Cada fonte fertilizante utilizada foi aplicada separadamente, uma vez que a variabilidade espacial de fósforo e potássio no solo não era coincidente.

A fertilização de correção foi realizada a lanço na superfície do solo em pré-semeadura das culturas de verão, com presença de cobertura do solo com aveia. A fertilização utilizada era corretiva e visava elevar o teor de nutrientes no solo acima dos críticos. A fertilização de manutenção foi realizada a dose fixa na linha de semeadura.



Figura 2 Conjunto utilizado para aplicação de fertilizantes a taxa variada. Trator MF 5310 com sistema Fieldstar e Distribuidor ZAM 1500 Amazon - Stara Sfil.

Com a realocação de insumos em áreas previamente fertilizadas comprovou-se que a taxa variada de fertilizantes economizou em até 17,7 % do custo total com fertilizantes e proporcionou um incremento na produtividade de 16,6 %. Estes resultados foram atribuídos a correção de áreas com teores de nutrientes abaixo do crítico. Embora nem sempre este resultado possa ser reproduzido pois depende muito das condições de variabilidade espacial dos atributos de solo, com presença de teores alto ou muito alto que possibilitem a realocação de insumos. Por outro lado, na presença de uma zona de alto potencial produtivo o decréscimo da fertilização deve ser realizado com muita cautela.

A partir do conjunto de dois mapas de colheita da mesma área, Schmidt, serviram de base para serem realizadas amostragens de solo de forma dirigida. A maior concentração dos pontos amostrais foi nas áreas de baixa produtividade, de modo que de 20 amostras de solo na área 12 apresentavam baixa fertilidade. A fertilização foi realizada a taxa variada com maior dose nas áreas com baixa fertilidade e baixa produtividade nas safras anteriores. Os resultados foram positivos com incremento da produtividade da soja de 12%.

Em 2003 foi aplicada a calagem a taxa variada usando o equipamento Bruttus (distribuidor de corretivos e fertilizantes por gravidade). Observou-se que a calagem apresentava um elevado retorno econômico em relação a dose uniforme uma vez que a diferença entre doses era na ordem de 0 a 4,0 t ha⁻¹. SANTI et al. (2009) reportaram um retorno econômico da taxa variável da

calagem na ordem de 30 % em relação a dose uniforme. Os resultados obtidos com a fertilização e correção a taxa variada tanto quanto a racionalização no uso de fertilizantes, quanto no incremento da produtividade foram expressivos, e estimularam a continuidade do Projeto Aquarius. Os agricultores reportavam que visualmente as lavouras estavam mais uniformes e a produtividade mais elevada.

A entrada da Universidade Federal De Santa Maria (UFSM) no ano de 2003 no Projeto Aquarius com a primeira participação na Expodireto-Cotrijal do ano seguinte. A participação da Universidade representada por três núcleos, o departamento de solos onde o Professor Dr. Telmo J.C. Amado e no Núcleo de ensaios de máquinas agrícolas (NEMA) sendo conduzido pelo Professor Dr. José Fernando Schlosser, que este veio a ser o coordenador as atividades do Projeto Aquarius por aproximadamente dois anos. O terceiro núcleo, conduzido pelo Professor Dr. Enio Giotto coordenador no Laboratório de Geomática, pertencente ao Departamento de Engenharia Rural. Neste laboratório foram desenvolvidas as primeiras ferramentas de AP em software nacional, o Sistema de Agricultura de Precisão do CR Campeiro, sendo estas ferramentas absorvidas as demais funções de gestão rural que o software CR Campeiro (Giotto & Robaina, 2007).

A partir da entrada da universidade alguns ajustes foram feitos, entre os principais se destaca: as amostragens de solo que passaram a ser feita com 1 ponto ha, e a camada de coleta 0-0,15 m. Assim, nesse período com a geração de mapas temáticos com maior resolução espacial foi encontrada a relação da baixa produtividade das culturas de grão com o teor de P no solo abaixo do crítico. Além disto, observou-se que as áreas com menores teores de P eram as que apresentavam os maiores teores de argila. Constatou-se que as áreas não eram uniformes quanto a textura e que isto influenciava os atributos físicos e químicos. Também se observou que a concentração das áreas com baixa produtividade se concentravam na bordadura das áreas, ou seja, locais de tráfego intenso que resultava em compactação do solo.

A adoção da fertilização a dose variada, observou-se que zona de média produtividade foi incrementada, pela redução da zona de baixa produtividade. Ainda se observou um incremento do tamanho da zona de alta produtividade, provavelmente como resultado de uma porção da zona de média que evoluiu para esta zona. Estes resultados foram atribuídos principalmente a otimização da alocação de fertilizantes na área.

Em 2005 a Cotrijal passou a fazer parte do Projeto Aquarius, e o Prof. Dr. Telmo Amado assumiu coordenação do projeto. No ano seguinte, em 2006, a fusão entre a empresa Stara Sfil foi desfeita, e a Stara continuou sua participação no projeto. Com isto, a difusão de informações técnicas do projeto aos agricultores passou a ter um canal direto. A avaliação dos agricultores também foi muito importante para a validação e aprimoramento das tecnologias. Então, o projeto foi expandido para 11 municípios agregando 11 novas áreas as

2 áreas pioneiras. Nestas áreas, as intervenções de amostragem de solo intensa, geração de mapas temáticos, aplicação a taxa variável de fertilizantes foram realizadas. Com a expansão do projeto Aquarius a estratégia utilizada foi a de escolher um talhão em cada uma das propriedades para ser manejado com as ferramentas da agricultura de precisão e o restante da propriedade continuar a ser manejada da forma tradicional. Na média de 6 propriedades com o manejo seguindo os princípios de AP houve um incremento médio de 9 % na produtividade das culturas da soja e milho. Este valor foi semelhante ao obtido nas áreas pioneiras do Projeto Aquarius. Muitas das propriedades que passaram a integrar o Projeto Aquarius em pouco tempo expandiram a AP para toda a área. A expansão do projeto comprovou que a AP era viável para diferentes tamanhos de propriedades, tipos de manejo, solo, clima e nível gerencial.

As reamostragens de solo realizadas a cada dois anos, mapa de produtividade confeccionado anualmente eram realizados nas áreas pioneiras. Foi comprovado que as intervenções a taxa variável de fertilizantes foram eficientes em reduzir a variabilidade espacial dos principais atributos químicos e, que isto, resultou no incremento da produtividade, e da rentabilidade econômica.

A redução da quantidade de insumos alocados nas áreas que já apresentavam teores acima do crítico possibilitou a racionalização do uso dos fertilizantes, dando prioridade as áreas com baixos teores.

Na área da Lagoa, uma das pioneiras em AP no Aquarius, foi corrigida quanto aos teores de fósforo (não haviam pontos amostrais com teores abaixo do crítico) após 4 aplicações de fertilizantes fosfatados a taxa variada (Figura 3). Este foi um dos principais resultados do Projeto Aquarius. Pela utilização da taxa variável no manejo da fertilidade do solo, tornou possível trazer todos os pontos amostrais da área para uma faixa de teores considerada como ideal. No caso do Projeto Aquarius, foi estabelecido que a faixa de teores ideal na camada de 0-0,15 m para o fósforo seria entre 15 a 30 mg dm⁻³. Já a de potássio seria de 150 a 300 mg dm⁻³ e o pH de 5,5 a 6,5. A saturação de bases deveria estar entre 70 a 80 %, com participação de 45 a 65 % de Ca e de 12 a 15 % Mg, 3 a 5 % de K. O teor de matéria orgânica deveria estar preferencialmente entre 3 a 5 %.

Uma vez que as áreas com teores abaixo do crítico foram equacionadas e com avanço das tecnologias para a agricultura de precisão as recomendações de fertilizantes à taxa variável plena foram implementadas com base na sobreposição de mapas temáticos. Neste caso foram sobrepostos mapas de produtividade, mapas de atributos químicos e mapas de textura do solo. Um dos objetivos deste manejo avançado foi proporcionar uma fertilização equilibrada, ou seja, a quantidade de nutrientes que é exportada via colheita deveria ser compensada pelo aporte via fertilizantes. Na Figura 4 a linha azul representa a taxa aplicada de fertilização em cada ha, gerada a partir do mapa de rastreabilidade da operação de fertilização, e a linha verde a quantidade de nutrientes exportados via grãos, obtida com o mapa de produtividade.

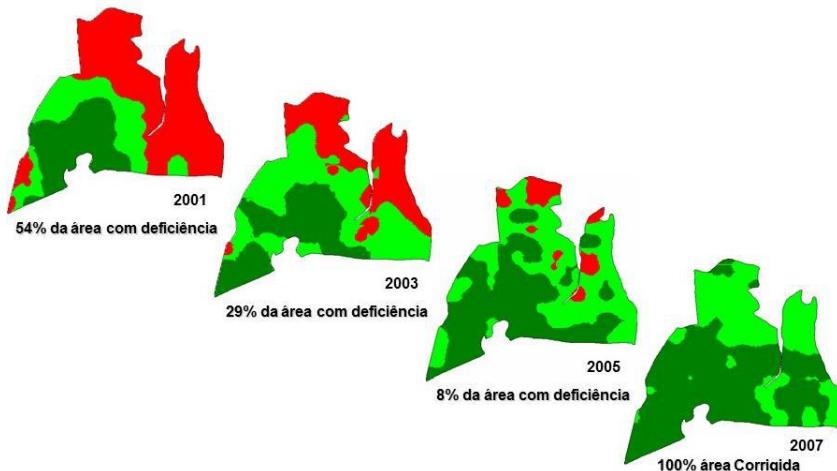


Figura 3 Área da Lagoa, através de amostragem georreferenciada e repetida a cada dois anos comprovou a eficiência da taxa variada. Em vermelho teores abaixo crítico, verde claro teores críticos, verde escuro teores acima do crítico para fósforo.

Este exemplo da Figura 4 é ilustrado como as ferramentas permitem o acompanhamento detalhado da evolução da fertilidade do solo, e o ajuste fino da fertilização que a AP permite. A reposição dos fertilizantes é realizada com base no mapa de colheita, sendo privilegiadas as áreas mais produtivas, respeitando o potencial produtivo das diferentes zonas existentes no campo produtivo.

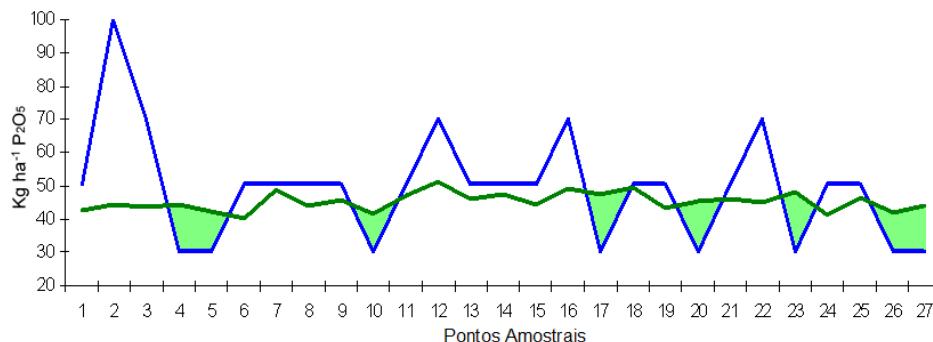


Figura 4 Avaliação da quantidade de nutrientes exportados no grão (linha verde), e adicionados (linha azul) pela fertilização de fósforo (P2O5) (correção + reposição). Área de 28 hectares pertencente a Luciano de Mattos, associado da Cotrijal-Almirante Tamandaré-RS.

Em áreas com os atributos químicos já corrigidos, e estavam sendo monitorados quanto a sua evolução temporal, a atenção da equipe do Projeto Aquarius recaiu sobre os atributos físicos do solo. Buscou-se estabelecer relações de causa-efeito entre os atributos físicos e a produtividade das culturas de grãos (AMADO et al., 2015). Utilização de ferramentas tecnológicas como mapas de colheita, sobreposição de dados de penetrometria georreferenciada foram investigadas visando delimitar zonas de ocorrência de compactação do solo. Como a ocorrência da compactação do solo em lavouras de grãos geralmente é concentrada em zonas específicas existe um grande potencial de utilização da escarificação sítio-específica do solo (GIRARDELLO et al., 2011; GIRARDELLO et al., 2014). A sobreposição de mapas de atributos de solo, de vigor de plantas e de mapa de rendimento de grãos pode ser uma importante alternativa para prospectar fatores limitantes ao desempenho vegetal nos campos de produção. Girardello et al. (2014) relacionou a resistência a penetração medida por penetrômetro com a produtividade da soja (Figura 5).

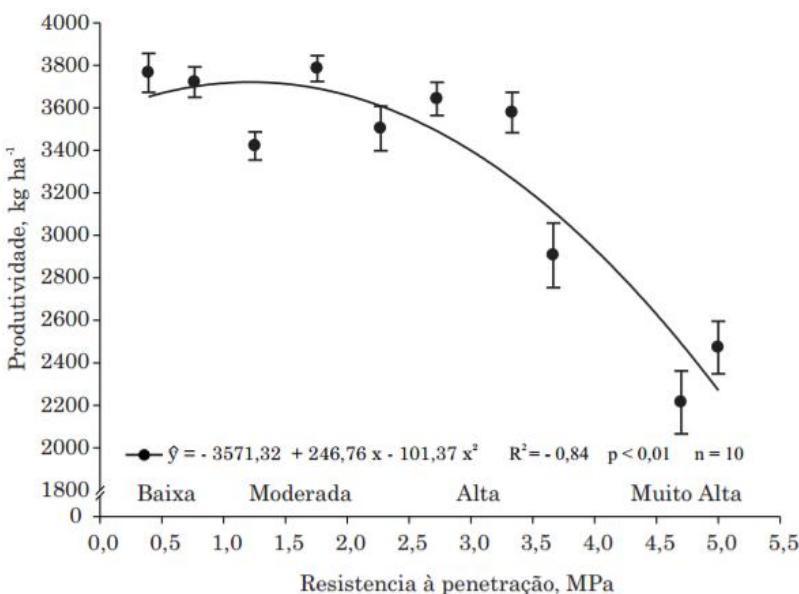


Figura 5 Produtividade da cultura da soja em função da resistência da penetração, determinada após o manejo da cultura de cobertura e classificada de acordo com Arshad et al. (1996), em Latossolo Vermelho na safra de 2008/09. Fonte: Girardello et al. (2014).

Na Tese de doutorado do Prof. Antônio L. Santi (SANTI, 2007) foi relacionado a qualidade de atributos físicos do solo com o mapa de produtividade. Para tanto, utilizou-se a estratégia de avaliações dirigidas por

zonas de manejo. Neste estudo foi encontrado que a baixa produtividade de grãos estava associada a baixa taxa de infiltração e, consequentemente, da armazenagem de água no solo. A estratégia utilizada foi acumular mapas de produtividade afim de contemplar a variabilidade temporal e identificar um padrão de comportamento temporal das culturas na área. A partir de então procurou-se caracterizar a qualidade física do solo em zonas que apresentavam o mesmo comportamento ao longo do tempo (SANTI et al., 2016). A taxa de infiltração de água na lavoura se mostrou um importante indicador da qualidade do solo e do potencial produtivo das zonas de manejo.

Posteriormente, avaliações sobre a melhoria da qualidade biológica, que juntamente com os atributos químicos e físicos constituem um tripé de qualidade do solo, também foi contemplada na área da Lagoa. Para tanto, através de um mapa temático de produtividade de várias safras identificou-se uma zona que seria prioritária para a intervenção sítio-específica com a adubação orgânica (cama de aviário). Sendo uma alternativa de estímulo a atividade biológica. Nestes locais, havia histórico de erosões pretéritas, as quais ocasionaram a redução da espessura do horizonte superficial do solo, que limita a disponibilidade de água para as culturas. A recuperação do teor de matéria orgânica nas zonas de baixo potencial produtivo deve ser uma prioridade, e a utilização de adubação orgânica com doses elevadas, combinadas ao uso de culturas de cobertura é uma alternativa a estes locais.

No ano de 2009 a empresa Yara Fertilizantes que participante do Projeto Aquarius, proporcionou avanços nas pesquisas em nutrição nitrogenada através da disponibilização do sensor de cultura N-Sensor ALS. Este sensor utilizado na Europa (Alemanha e Inglaterra) nas culturas do trigo, cevada, centeio, azevém, aveia, trigo, batata e milho nas quais em média proporcionou incremento da produtividade de 6% e decréscimo na dose de N de 14% (BRAGAGNOLLO et al., 2013a, b). O sensor faz a estimativa do vigor das plantas com base na reflectância de ondas espectrais de comprimentos de 730 nm e 760 nm, que é correlacionado com a quantidade de N absorvido pelas plantas e com a produção de matéria seca. Com isto, um algoritmo prescreve a dose de N considerando o estado nutricional da cultura em diferentes estádios fenológicos. As aplicações de doses acima da demanda das plantas são evitadas, resultando em maior eficiência no uso do nitrogênio e menor impacto ambiental.

O primeiro N-Sensor introduzido no Brasil foi através do Projeto Aquarius. E mais um passo no avanço do manejo da nutrição de plantas foi dado, ou seja, proporcionando avaliações durante a estação de crescimento. Por fim, possibilitando verificar o estado nutricional das culturas para realizar o ajuste fino da fertilização. O nitrogênio é um nutriente muito sujeito a perdas em sistemas agrícolas, com contaminação de recursos hídricos e com perdas gasosas de óxido nitroso que tem uma elevada forçante radiativa. Uma das vantagens da agricultura de precisão é o menor impacto ambiental devido a maior assertividade das intervenções.

Na propriedade do Sr. Rogerio Pacheco em Carazinho, utilizou-se a estratégia de fertilização nitrogenada parcelada na cultura do milho seguindo o N-Sensor. Este sensor foi utilizado para avaliar o grau de sucesso de cada uma das fertilizações nitrogenadas, permitindo que correções fossem realizadas sucessivamente. Na Figura 6, é apresentada a utilização do N-Sensor visando a prescrição da dose fixa e das doses variadas, com a evolução do estado nutricional da cultura do milho.

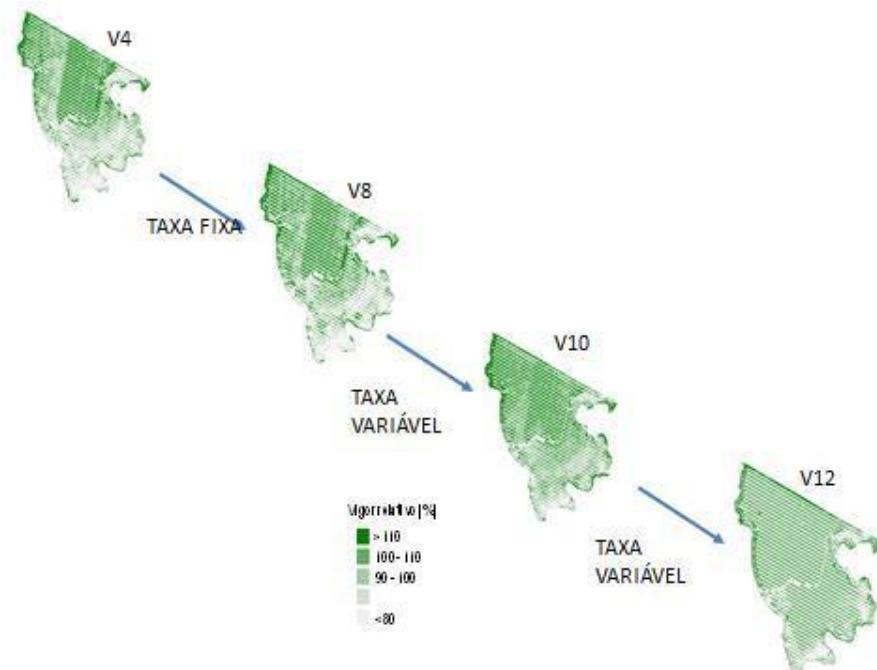


Figura 6 Fertilização nitrogenada a taxa variada com base no N-Sensor na cultura do milho. A primeira fertilização foi realizada em V4 com dose fixa, a segunda fertilização a dose variada com base no N-Sensor em V7-V8, a terceira taxa variada com N-Sensor em V9-V10 e uma leitura em V11-V12 para avaliação do estado nutricional. Carazinho, 2015.

Destaca-se a elevada concordância entre o mapa de vigor determinado em V11-V12 com o N-Sensor e o mapa de produtividade de milho (Figura 7). Este resultado é importante pois sugere que as correções realizadas no estado nutricional das plantas se refletiram em uma produtividade de milho mais uniforme no campo produtivo. Com isto, há possibilidade de realizar fertilizações corretivas do estado nutricional das plantas durante o ciclo da cultura utilizando sensores de cultura como o N-Sensor, mas também com imagens de sensoriamento remoto tornando-se uma alternativa de complementar a

fertilização com base em amostragens de solo com informações sobre o estado nutricional da cultura (planta).

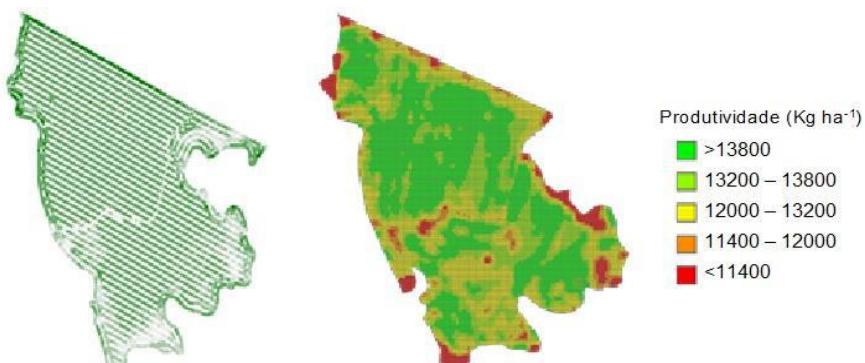


Figura 7 Leitura do estado de vigor de plantas de milho em V11-V12 com N-Sensor e mapa de produtividade de milho. Carazinho, RS.

Em 2010 passou-se a utilizar no Projeto Aquarius as tecnologias do piloto automático com sistema DGPS, possibilitando assim diminuir o erro de posicionamento das máquinas agrícolas. Impulsionados por esta tecnologia houve avanço na aplicação de defensivos sendo iniciados os trabalhos com a pulverização precisa através do desligamento de seções. Neste caso, possibilitou economizar entre 6,3 % a 13,3 % na quantidade de calda aplicada por aplicação, dependendo do tamanho e formato das áreas. As áreas mais recortadas, menos uniformes e com presença de obstáculos são as que apresentam maior probabilidade de retorno da pulverização precisa. Os valores obtidos no projeto aquarius foram semelhantes aos reportados internacionalmente com redução entre 2 a 12 %. Além do maior retorno econômico da atividade que é importante, destaca-se o menor impacto ambiental pela redução do erro de sobreposição de aplicação de agroquímicos.

Ainda na safra 2009/2010, o Projeto Aquarius avançou no conceito de zonas de manejo. Fazendo o ajuste da população de plantas de milho às distintas zonas de manejo, determinadas com base na sobreposição de mapas de colheita de várias safras. Para tanto, utilizou-se semeadura que possibilitava a taxa variável de fertilizantes e de sementes “on-the-go”. A possibilidade de utilizar taxa variável de fertilizantes na linha de semeadura, especialmente de nutrientes pouco móveis, como o fósforo, era uma demanda de muitos pesquisadores e agricultores. Com isto, as novas estratégias de fertilização puderam ser adotadas ao mesmo tempo que o uso da população de plantas variada. Assim, por exemplo em áreas com horizonte A de maior profundidade, com maior teor de matéria orgânica e maior capacidade de armazenagem de água no solo a população de plantas pode ser aumentada. Enquanto em áreas

com solo mais raso, com maior declividade e menor disponibilidade de água às plantas é necessário a redução na população de plantas, especialmente em anos com déficit hídrico.

O ano de 2011 marcou a entrada da Pioneer (DuPont Pioneer) no projeto e, consequentemente, houve o incremento dos trabalhos com a cultura do milho. Com isto, no âmbito do Projeto Aquarius a relação entre solo, planta e máquinas foi reforçada. Os experimentos conduzidos concentraram sobre as interações entre fertilização nitrogenada, população de híbridos e zonas de manejo. Em experimento conduzido por Hörbe et al. (2013) observaram-se que o ajuste de população de milho de acordo com as zonas de manejo teria um potencial de incremento de produtividade de até 10 %. Resultados obtidos com o híbrido Pioneer 30F53YH concluíram que na zona de baixo potencial produtivo (ZB) a população alvo de milho deveria ser em torno de 50.000 plantas, na zona de médio potencial produtivo deveria ser de 70.000 plantas e na zona de alto potencial (ZA) maior de que 80.000 plantas. Esse ajuste permitiu incremento no retorno econômico em função da economia na quantidade de semente e na redução da competição intraespecífica. Por outro lado, o incremento de população na ZA otimizaria o aproveitamento deste ambiente de produção (HÖRBE et al., 2013).

Os sensores de condutividade elétrica (CEa), possibilitou maior resolução espacial das zonas de manejo. O mapa temático de CEa foi associado aos mapas de índices de vegetação, de produtividade. (Figura 8). Em um trabalho conduzido por Corassa et al. (2016) em duas áreas agrícolas sob Latossolos encontraram relação da CEa positiva com a saturação de cálcio, saturação de magnésio, com pH em água, saturação e soma de bases, e com a capacidade de troca catiônica; e negativa com os valores de Al^{3+} , saturação por alumínio e de $H+Al^{3+}$. Por isto, os autores sugeriram a possibilidade utilizar a CEa como atributo para o refinamento da correção da acidez do solo (Figura 8).

Em trabalho conduzido por Schwalbert et al. (dados ainda não publicados) a CE foi utilizada em conjunto com mapas de vigor, produtividade de culturas, declividade para a definição de zonas de manejo. A partir disto, verificou-se que as zonas de baixa produtividade apresentaram os menores índices de eficiência no uso do nitrogênio, ainda se diferenciaram das demais zonas de manejo, por apresentar limitada resposta a fertilização nitrogenada. Assim, concluiu-se que a dose que maximizou a produtividade nessa zona foi inferior a zona de média, e esta por sua vez menor que a de alta. Como o nitrogênio é um nutriente com baixo efeito residual, a aplicação de elevadas doses em zonas de baixo potencial produtivo ao invés de incrementar a produtividade pode resultar em menor retorno econômico e maior impacto ambiental. Este resultado reforça a necessidade de ajuste fino da fertilização nitrogenada considerando fatores de planta e de solo (Figura 9).

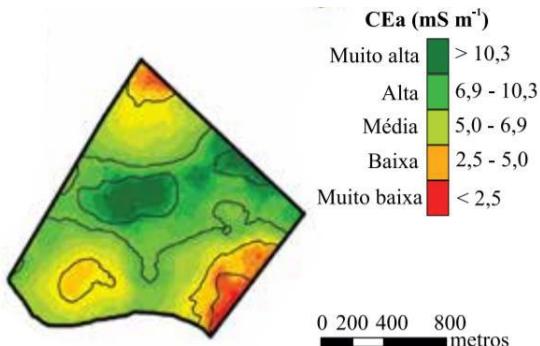


Figura 8 Espacialização em alta resolução da condutividade elétrica aparente (CEa), medida com o sensor Veris 3100, que possibilita o refinamento da aplicação de taxa variada plena de corretivos (calcário) e condicionadores de solo (gesso agrícola, hidróxido de Ca, entre outros). Fonte Corassa et al. 2016

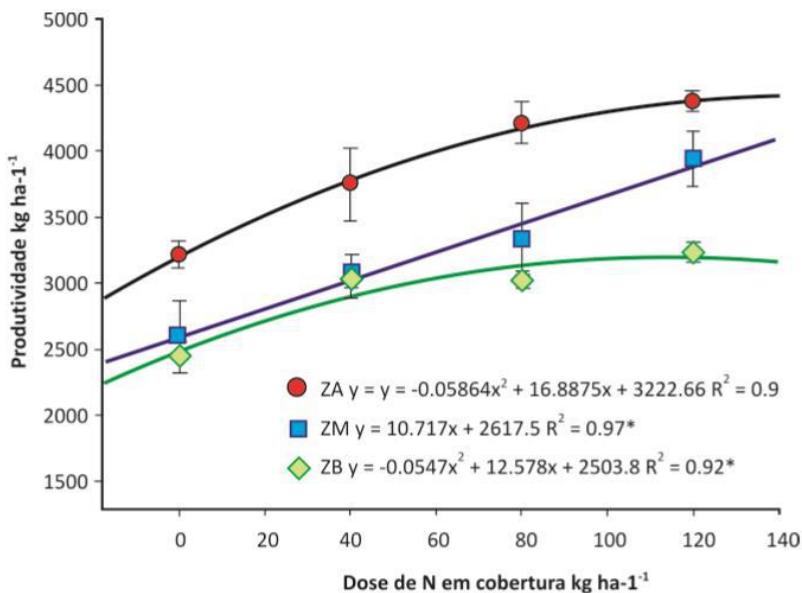


Figura 9 Resposta à fertilização nitrogenada nas diferentes zonas de manejo na cultura do trigo. Carazinho, RS. ZA = zona de alta, ZM = zona de média e ZB = zona de baixa. Fonte: Schwalbert et al. (dados não publicados).

No ano de 2014 o projeto Aquarius fez pela primeira vez o ajuste de população de plantas baseado em zonas de manejo em um talhão inteiro. A área escolhida foi o talhão lagoa, com 132 ha, de propriedade do Sr. Fernando

Stapelbroek Trennepohl, onde obteve-se um expressivo retorno econômico expresso na Figura 10 (AMADO et al., 2015).

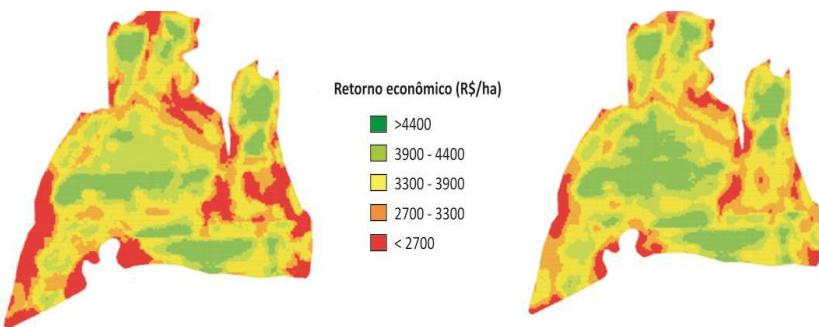


Figura 10 Retorno econômico da taxa fixa e variada de sementes de milho de acordo com zonas de manejo (AMADO et al. 2015).

1.3 Considerações Finais

O Projeto Aquarius é um projeto de inovação, pesquisa, desenvolvimento e extensão em agricultura de precisão. Além de comprovar a viabilidade técnica e econômica da agricultura de precisão no Sul do Brasil se tornou um importante referencial para agricultores e técnicos interessados em modernizar a agricultura. Durante os dezesseis anos de existência do projeto, a formação de recursos humanos de elevada competência foi uma de suas principais características. Trabalhos de longa duração são necessários para que se possa entender os complexos sistemas agrícolas. A manutenção de uma página na internet (www.ufsm.br/projetoaquarius) é uma forma de comunicação com o público interessado em agricultura de precisão. A participação na Expodireto possibilita interagir com os produtores agrícolas e apresentar os principais resultados. Infelizmente, no Brasil ainda são raros os trabalhos de longa duração que envolvam a indústria-cooperativa-universidade-produtor como o projeto Aquarius, porém o potencial de gerar avanços tecnológicos é muito grande e deveria ser incentivado.

Agradecimentos

Os autores em nome do Projeto Aquarius agradecem penhoradamente a todas as pessoas que fizeram parte do projeto ao longo desta trajetória de 17 anos. Também agradecem aos agricultores, que disponibilizaram suas áreas para que os experimentos fossem conduzidos. As empresas parceiras e a todas aquelas pessoas que contribuíram para viabilidade do projeto.

Bibliografia

- AMADO, T. J. C.; HANSEL, F. D.; TEIXEIRA, T. D.; HÖRBE, T. A. N.; SCHWALBERT, R. A.; CORASSA, G. M.; BUSS, C. P.; WAGNER, W.; MAGNI, R; DAL VESCO; C.; ALEXANDRE, M. D.; LIBARD, G.; TISOT, B.; KERBER, L. Projeto Aquarius 15 anos: Principais resultados do mais longevo Projeto de Agricultura de Precisão do Brasil. **Revista Plantio Direto**. ed.144, p13. 2015.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. **Methods for assessing soil quality**. Madison, Soil Science Society of America. p.123- 141. 1996.
- BRAGAGNOLO, J.; AMADO, AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; JASPER, J.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T. G. Optical crop sensor for variable-rate nitrogen fertilization in corn: i - plant nutrition and dry matter production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso)**. v. 37, p. 1288-1298. 2013a.
- BRAGAGNOLO, J.; AMADO, AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; SANTI, A. L.; FIORIN, J. E.; TABALDI, F. Optical crop sensor for variable-rate nitrogen fertilization in corn: II - indices of fertilizer efficiency and corn yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso)**. v. 37, p. 1299-1309. 2013b.
- CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C.; TABALDI, F.; SCHWALBERT, R. A.; REIMCHE, G. B.; DALLA NORA, D.; ALBA, P. J.; HÖRBE, T. A. N. Espacialização em alta resolução de atributos da acidez de Latossolo por meio de sensoriamento em tempo real. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v51(9). p1306-1316. 2016.
- GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. **A agricultura de precisão com o CR Campeiro 7 - Manual do usuário**. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia Rural/Laboratório de Geomática, 2007. 319 p.
- GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v35. p2115-2126. 2011.
- GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T. G. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v38. p1234-1244. 2014.

HÖRBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture.** v14. p450-465. 2013.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão.** 2007. 175 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; FLORA, L. P. D.; BASSO, C. J. A calagem na agricultura de precisão. **Revista a Granja.** p65-67. 2009.

SANTI, A. L.; DAMIAN, J. M.; CHERUBIN, M. R.; AMADO, T. J. C; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L.; FERNEY, W.; HERRERA, B. Soil physical and hydraulic changes in different yielding zones under no-tillage in Brazil. **African Journal of Agricultural Research.** v11. P1326-1335. 2016.

CAPÍTULO 2

Projeto APcoop: Agricultura de Precisão no Sistema Cooperativo do Rio Grande do Sul

Jackson Ernani Fiorin¹, Telmo Jorge Carneiro Amado²

Resumo

A agricultura de precisão (AP) é uma tecnologia multidisciplinar, que une produtores, indústria de máquinas agrícolas e de insumos, pesquisa e assistência técnica. Seus objetivos são o aumento da eficiência de todos os processos, aumento da produtividade, racionalização no uso de insumos e redução dos impactos ambientais. Na sua concepção inicial objetivava equilibrar a fertilidade do solo através de aplicação a taxa variada de adubos e corretivos, normalmente restritos ao fósforo, potássio e a acidez. Mesmo dentro deste contexto, as exigências técnicas e materiais que se faziam necessárias em sua implantação, pareciam ter sua aplicabilidade limitada aos grandes produtores e/ou capitalizados. As diferenças entre os produtores quanto ao acesso a créditos, subsídios e garantia de preços, impõe que se busque novas estratégias de implantação da AP adaptadas as condições de produtores com menor capacidade de investimento sejam desenvolvidas. Neste sentido a CCGL TEC em parceria com a UFSM implementou em 2007 um projeto de apoio visando estimular a adoção da AP no sistema cooperativo do RS, basicamente formado por pequenos e médios produtores rurais. Os principais objetivos do Projeto Cooperativo (APcoop) são: fornecer subsídios técnicos ao sistema cooperativo através da realização de cursos e treinamentos em AP; Implementar um programa de pesquisa em AP em áreas pilotos junto às cooperativas; e estimular a troca de experiências e parcerias entre cooperativas e instituições. Um conjunto considerável de atividades foram desenvolvidas e até o momento são 28 cooperativas que estão estruturadas e oferecendo essa ferramenta tecnológica aos seus associados. O APcoop que conta com a adesão de 6824 produtores, numa abrangência distribuída em 175 municípios do RS e uma área em que efetivamente já foi utilizado algum tipo de ferramenta de AP de aproximadamente 464.357 hectares.

Abstract

Precision agriculture (PA) is a multidisciplinary technology, which unites producers, industry of agricultural machinery and inputs, research and technical assistance. Its objectives are to increase the efficiency of all processes, increase productivity, rational use of inputs and reducing environmental impacts. In its initial design was aimed at balancing soil fertility by applying a variable rate fertilizer and corrective usually restricted

¹ Engº Agrº, Dr. Pesquisador da CCGL TEC – Coordenador do Projeto APcoop. E-mail: jackson.fiorin@ccgl.com.br

² Engº Agrº, Dr. Professor Titular do Departamento de Solos da UFSM. E-mail: florestatel@hotmail.com

to the phosphorus, potassium and acidity. Even within this context, the technical requirements and materials that were needed in its implementation, seemed to have a limited applicability to large producers and / or capitalized. Differences between the producers regarding the access to credit, subsidies and guaranteed prices, makes it necessary to seek new AP deployment strategies adapted to the conditions of producers with less investment capacity are developed. In this sense CCGL TEC in partnership with UFSM implemented in 2007 a support project to stimulate the adoption of AP in the cooperative system of RS, basically made up of small and medium farmers. The main objectives of the Cooperative Project (APcoop) are: to provide technical susbsídios the cooperative system by conducting courses and training in AP; Implement a research program for AP in pilot areas next to the cooperatives; and encourage the exchange of experiences and partnerships between cooperatives and institutions. A considerable number of activities were developed and so far there are 28 cooperatives that are structured and offering this technological tool to its members. The APcoop which has a membership of 6824 farmers, a distributed coverage in 175 municipalities in the RS and an area that has been effectively used some kind of tool AP approximately 464,357 hectares.

2.1 Introdução

Nas últimas décadas, o setor agropecuário tem passado por profundas transformações. O interesse em maximizar a produção tem estimulado os produtores a adotarem práticas avançadas de manejo da cultura e do solo. A obtenção de elevados rendimentos é uma necessidade em função dos altos custos de produção e a crescente competitividade a que todos os produtores estão sujeitos no mundo a cada dia mais globalizado. No entanto, de nada adianta o produtor utilizar as mais diferentes alternativas tecnológicas, se não utilizar de forma racional os recursos disponíveis, na busca da rentabilidade de sua atividade. Portanto, as inovações tecnológicas devem vir acompanhadas de rentabilidade ao produtor.

Nesse sentido, a agricultura de precisão se propõe a aumentar a eficiência e a rentabilidade da atividade agropecuária, com base no manejo localizado respeitando a variabilidade de solo, planta e microclima existente na área (AMADO & SANTI, 2007). Os trabalhos em agricultura de precisão têm se concentrado sobre o manejo da variabilidade de atributos químicos do solo, pois em várias situações de campo, os benefícios gerados trazem ganhos imediatos tanto na racionalização no uso de insumos como na elevação da produtividade. No entanto, muitas vezes, o entendimento dos usuários de agricultura de precisão limita-se a aplicação de insumos a taxa variada sem mesmo investigar se esse é realmente a principal causa da variabilidade da produtividade em sua área (AMADO & SANTI, 2007).

Em alguns casos, parece que o uso da agricultura de precisão fica atrelado ao conceito de que retrata de privilégio de poucos produtores capitalizados devido aos custos envolvidos na amostragem intensiva de solo, análises de laboratório de solo e plantas, aquisição de distribuidores de

fertilizantes à taxa variada, colhedoras equipadas com sensores de rendimento, consultoria técnica para geração de mapas, entre outros. Nesse sentido, é importante desmistificar isso e entender a agricultura de precisão como sendo uma ferramenta tecnológica de gerenciamento que pode direcionar a utilização dos fatores de produção conduzindo ao aprimoramento do manejo na busca da eficiência produtiva. O aprimoramento do gerenciamento é uma necessidade atual de todas as propriedades agrícolas, independente do seu tamanho ou capacidade de investimento. Através do melhor gerenciamento dos talhões que compõem a propriedade agrícola obtém-se maior eficiência e retorno econômico. Entretanto, é importante, segundo Pires et al. (2004), que se tenha consciência de que os benefícios esperados com a agricultura de precisão são dependentes de fatores como variabilidade encontrada em cada área, tecnologia, condições climáticas e soluções de manejo empregadas, entre outros. Aliado a isso é imprescindível que o usuário da agricultura de precisão mantenha-se atento ao adequado manejo dos demais fatores de produção, também muito importantes na busca de eficiência e competitividade da sua atividade.

A adoção massiva de novas práticas de manejo é sempre difícil, principalmente quando essas representam modificações em práticas consolidadas e tradicionais (PIRES et al., 2004). Para os autores, a adoção e a disseminação do sistema plantio direto no Brasil foram marcadas por dificuldades e incertezas. A agricultura de precisão passa pela mesma situação, principalmente quando usada em condições diferentes daquela para a qual foi concebida (países desenvolvidos, agricultura subsidiada, política agrícola definida). Adaptações e inovações são necessárias para o sucesso da agricultura de precisão em países em desenvolvimento, e acredita-se que as pesquisas participativas envolvendo produtores, empresas privadas, universidades e institutos de pesquisa são essenciais. Neste contexto, ressalta-se a importância do Projeto Aquarius (www.ufsm.br/projetoaquarius) para o avanço da agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. Este projeto ao longo de quinze anos de sua existência tem desenvolvido conhecimento e validou equipamentos e tecnologias para o Sul do Brasil.

A CCGL TEC como Centro de Experimentação e Pesquisa do sistema cooperativo do Rio Grande do Sul está empenhada na busca da agropecuária mais sustentável, tendo sido uma das instituições que contribuiu para a adoção do plantio direto. No caso da agricultura de precisão, certamente existirão muitas limitações tecnológicas a serem superadas no processo de adoção. No entanto, acredita-se que a integração de esforços, juntamente com o trabalho desenvolvido por várias instituições, possibilitará a transferência e validação de tecnologias, que certamente contribuirão para tornar a agricultura de precisão uma realidade.

2.2 O Projeto Cooperativo de Agricultura de Precisão – APcoop

A agricultura de precisão alia tecnologia (máquinas, equipamentos, eletrônica embarcada, geotecnologias, programas computacionais e pessoal especializado) com conhecimento. Neste sentido a CCGL TEC em parceria com a UFSM (Setor de Uso, Manejo e Conservação do Solo e Água e Laboratório de Geomática) implementou um projeto de apoio visando estimular a adoção da agricultura de precisão no sistema cooperativo do RS.

Os principais objetivos do Projeto Cooperativo (APcoop) são:

- Fornecer subsídios técnicos ao sistema cooperativo através da realização de cursos e treinamentos em agricultura de precisão;
- Implementar um programa de pesquisa em agricultura de precisão em áreas pilotos junto às cooperativas;
- Estimular a troca de experiências e parcerias entre cooperativas e instituições.

2.3 Principais Atividades Desenvolvidas e Abrangência

Um conjunto considerável de ações que a CCGL TEC e a UFSM têm desenvolvido no programa de apoio a adoção da agricultura de precisão pelo sistema cooperativo do RS. Observou-se uma motivação significativa ao processo de adoção e a necessidade de repassar informações básicas sobre o tema. Foram realizados em 2007 a 2016, vários cursos e treinamentos, que ocorreram em módulos por assunto de interesse, abordando aspectos técnicos relativos aos procedimentos envolvidos, objetivando qualificar os assistentes técnicos das cooperativas envolvidas. Os primeiros itens desenvolvidos foram: tamanho de malha para amostragem de solo, profundidade de amostragem, tempo para reamostragem, teores críticos de nutrientes no solo, doses a serem aplicadas à taxa variada, retorno econômico, treinamento específico com Software Campeiro 7.0 (GIOTTO & ROBAINA, 2007) na geração de mapas de atributos de solo e de prescrições de intervenções de manejo localizado, treinamento com empresas parceiras do Projeto Aquarius em mapas de rendimento e distribuidores à taxa variada e interpretação de resultados. A Figura 1 apresenta um treinamento de capacitação dos Departamentos Técnicos das cooperativas com os professores Telmo J. C. Amado e Enio Giotto (UFSM) e o pesquisador (Jackson E. Fiorin) em Cruz Alta (RS).

Além do treinamento da equipe técnica especializada em agricultura de precisão, as cooperativas investiram na aquisição de equipamentos para amostragem de solo (quadriciclos), distribuidores à taxa variada, GPS, penetrômetros (avaliar o estado de compactação do solo) e sensores de rendimento. Estes equipamentos pelo seu custo seriam inacessíveis aos pequenos produtores, porém quando adquiridos pela cooperativa, que presta

esse serviço, adicionalmente aos outros serviços que já tradicionalmente oferece, se torna viável. Adicional a isto, inúmeras palestras e dias de campo foram realizados objetivando desmistificar e esclarecer aos produtores associados das cooperativas envolvidas, o potencial que agricultura de precisão representa na atual conjuntura. Na Figura 2 apresenta-se um grupo de pequenos produtores, associados da COTRIJAL (Não-Me-Toque), recebendo algumas noções sobre os conceitos de agricultura de precisão e informações sobre a aplicação de fertilizantes à taxa variada, através do departamento técnico da cooperativa. Sem o isso, esses produtores não poderiam ter os benefícios dos avanços tecnológicos. Outro fator que favorece o desenvolvimento da agricultura de precisão nas cooperativas é que a evolução do gerenciamento e controle das atividades agrícolas é gradativa necessitando algumas safras para que todos os fatores limitantes ao rendimento sejam minimizados. Para tanto, faz-se necessário um acompanhamento técnico frequente ao produtor durante algumas safras. Isso é possível através dos departamentos técnicos das cooperativas.



Figura 1 Treinamento realizado em 2007 na CCGL (Cruz Alta) reunindo aproximadamente 90 assistentes técnicos oriundos de 16 cooperativas.

Os resultados são animadores, pois até o momento, **28 cooperativas** estão estruturadas e oferecendo esta ferramenta tecnológica aos seus associados. É oportuno relatar que, anterior a isto, algumas cooperativas por iniciativa própria já tinham adotado a agricultura de precisão como uma prioridade nas suas ações e pioneiramente iniciado atividades em alguns produtores.

Na COTRIPAL (Panambi), que iniciou os trabalhos em 2007, vários produtores relataram que suas lavouras ficaram mais uniformes. O Eng° Agr° Dêniro Oerlecke, Supervisor da Área Técnica, explica que muitos produtores

escolhem um talhão das suas áreas para experimentar a tecnologia, mas já no ano seguinte optaram por expandir para os demais talhões.



Figura 2 Grupo de pequenos produtores, associados da COTRIJAL (Não-Me-Toque), recebendo noções sobre agricultura de precisão, através do departamento técnico da cooperativa. (Foto: Cortesia COTRIJAL).

Com base num levantamento de informações prestadas pelos departamentos técnicos das cooperativas vinculadas à CCGL TEC, a agricultura de precisão no sistema cooperativo do RS já conta com a adesão de aproximadamente **7284 produtores**. A abrangência desse processo de adoção no sistema cooperativo pode ser melhor visualizada na Figura 3, e encontra-se distribuída em aproximadamente **175 municípios do RS**. A área em que efetivamente já foi utilizada algum tipo de ferramenta de agricultura de precisão totaliza aproximadamente **537.456 hectares**.

A condução das áreas de pesquisas em parceria da CCGL TEC e UFSM serviu de base na geração de informações, bem como tem papel importante em adaptar a tecnologia para as diferentes realidades de propriedades na área de abrangência das cooperativas, inclusive desenvolvendo conhecimento em outras áreas relacionadas. As áreas de pesquisas são constituídas normalmente em áreas de produtores, associados de cooperativas, vinculadas a CCGL TEC. Foram em número de 18 áreas de pesquisa distribuídas em diferentes regiões do Estado.

Os benefícios oriundos da adoção da AP em termos de ganhos em produtividade e/ou redução de custos estão intimamente relacionados à variabilidade encontrada nas lavouras e ao nível de acerto que tecnicamente podem ser obtidos nas diferentes fases do processo. A viabilidade técnica e econômica da adoção da AP no Sistema Cooperativo do RS foi avaliada num “estudo de caso” e está apresentada no Item 1.5.

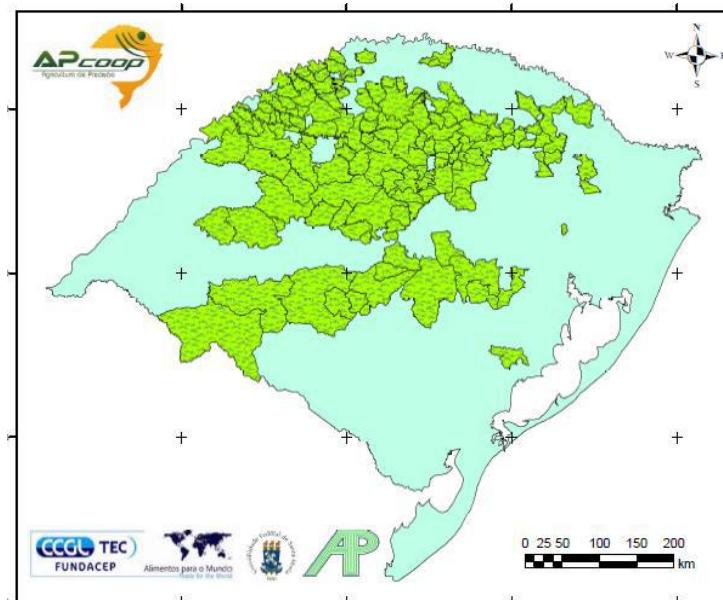


Figura 3. Área de abrangência da adoção da agricultura de precisão no sistema cooperativo do RS. CCGL TEC/UFSM. Cruz Alta, RS, 2015.

Neste programa de apoio à adoção da agricultura de precisão no sistema cooperativo, a CCGL TEC viabilizou a ampliação e modernização do laboratório de análises de solo. A modernização do laboratório de solos resultou em várias melhorias na infra-estrutura, na aquisição de aparelhos de última geração e na construção de um novo laboratório análises de solos. A nova estrutura projetada objetiva ampliar o número de amostras realizadas e qualificar os seus resultados, mas, prioritariamente, propõe reduzir o tempo entre o recebimento da amostra e a emissão do laudo de análise. Esse é um fator essencial para agricultura de precisão, pois o espaço entre a amostragem do solo e a intervenção à taxa variada é pequeno.

2.4 Diagnóstico da Fertilidade do Solo nas Áreas em Implantação do Projeto de Agricultura de Precisão do Sistema Cooperativo do RS

A busca por altas produtividades é uma necessidade em função dos altos custos e da crescente competitividade a que todos os produtores estão sujeitos na agricultura. Neste sentido, o uso da ferramenta de Agricultura de Precisão (AP) tem sido importante para aumentar a eficiência e a rentabilidade com base no manejo localizado respeitando a variabilidade do solo, planta e microclima existente na área (AMADO & SANTI, 2007).

A necessidade de aproveitar melhor os insumos e economizá-los, na medida do possível, obriga a conhecer os solos e os sistemas de produção. Os trabalhos em AP têm se concentrado sobre o manejo da variabilidade de atributos químicos do solo, pois em várias situações, os benefícios gerados trazem ganhos imediatos tanto na racionalização no uso de insumos como na elevação da produtividade. Devido à variabilidade existente nos atributos relacionados à fertilidade do solo, o uso da ferramenta da AP é uma alternativa viável para a aplicação de corretivos e fertilizantes no local e em quantidades corretas.

A utilização da análise de solo é considerada uma ferramenta imprescindível na tomada de decisão sobre a necessidade de aplicação de fertilizantes e corretivos. Neste sentido, o entendimento da situação dos indicadores de fertilidade dos solos de uma região, tem sido essencial na definição das prioridades nos programas de recomendação de adubação e calagem. Com o objetivo de diagnosticar a situação da fertilidade dos solos nas áreas em implantação de agricultura de precisão no Rio Grande do Sul, através da avaliação de alguns parâmetros de acidez e dos teores de fósforo e potássio do solo, foi realizado este trabalho apresentado por Fiorin et al. (2012), Dias (2013) e descrita a seguir.

O diagnóstico da fertilidade do solo foi realizado com base em 106.955 análises, amostradas nas áreas de produtores que aderiram à AP no período de 2007 a 2012. As informações foram obtidas junto ao banco de dados de 22 Cooperativas no RS, que realizam suas análises no Laboratório de Análise de Solos e Tecido Vegetal da CCGL TEC.

Os resultados das análises de solo foram sistematizados utilizando-se de planilha eletrônica Excel. Posteriormente foi calculado a distribuição de freqüência (percentagem) das análises dos teores de argila e de matéria orgânica do solo (MOS), pH em água, saturação da CTC por bases e, teores de fósforo e potássio no solo extraídos pela solução de Mehlich-I. Com exceção da MOS, foram utilizados os parâmetros de interpretação descritos no “Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina” (COMISSÃO..., 2004). Para a MOS, em virtude deste parâmetro ser utilizado como um indicador da qualidade do sistema de manejo do solo e à variação existente entre os tipos de solos, a distribuição de freqüência foi calculada considerando as faixas de <1,6%, 1,6% a 2,5%; 2,6% a 3,5%, 3,6% a 4,5% e > 4,5% de MOS no solo.

A situação da fertilidade do solo das áreas em implantação de AP no Rio Grande do Sul, através da avaliação de alguns parâmetros de acidez e teores de nutrientes, é apresentada na Figura 4.

Os solos das áreas manejadas em AP no RS, com relação aos teores de argila, mostram uma distribuição com predominância nas Classes I (> 60% argila) e Classe II (41% a 60% argila), com 28,8% e 38,5% das amostras, respectivamente. Um menor percentual é verificado nas Classes III (21% a 40%

argila) e Classe IV (< 20% argila), respectivamente, 28,2% e 4,5%. Esta distribuição era esperada, uma vez que as áreas representam aproximadamente 150 municípios diferentes.

A matéria orgânica do solo (MOS) tem sido utilizada como um indicador da qualidade do sistema de manejo do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005). Considerando que existe um percentual significativo de classes de solo de textura menos argilosa, que tradicionalmente apresentam menores teores de MOS, a distribuição das amostras quanto aos teores de M.O. podem ser considerados satisfatórios, uma vez que 37,8% das amostras apresentam > 3,6% de MOS, e que 9,2% das amostras têm teor > 5%, que é próximo às condições de campo natural ou mata nativa. Isso induz acreditar que os produtores que aderiram à AP apresentam um sistema de manejo já em fase de plantio direto consolidado e com bons teores de MOS.

No diagnóstico da acidez, baseando-se no critério de pH em água e considerando que para o sistema plantio direto, valores entre 5,5 e 6,0 podem ser considerados como adequados, 42,6% das amostras estariam dentro desta faixa. Entretanto, observa-se que, 28,4% e 13,9% das amostras têm probabilidade de apresentar resposta à correção da acidez do solo, necessitando, respectivamente, doses menores e mais elevadas de corretivos. Considerando o critério de saturação da CTC por bases, cerca de 47,6% das amostras apresentam-se com valores inferiores a 65% e probabilidade de apresentarem resposta à correção da acidez do solo. Por outro lado, verifica-se um percentual de 15,1% das amostras em situação de pH em água > 6,0, o que poderá, em alguns casos, ser preocupante na disponibilidade de micronutrientes no solo.

Em relação aos teores de fósforo (Mehlich-I), observou-se que 21,5% das amostras, encontram-se numa situação de média fertilidade necessitando de pequenas doses do nutriente objetivando elevação da fertilidade. No entanto, 26,9% e 13,4%, possuem teores baixos e muito baixos, constituindo um percentual significativo (40,3%) da área em agricultura de precisão que necessitam atenção especial e a utilização de doses maiores para elevar os teores de fósforo no solo. Por outro lado, situações de alta e de muita alta fertilidade em fósforo, para a qual se sugere a adubação de manutenção das culturas, são encontradas em apenas 28,3% e 9,9% das amostras, totalizando 38,2%. Estes resultados evidenciam que coexistem situações em que há necessidade de elevação dos teores com outras em que é possível economizar o insumo. Em contrapartida, os teores de potássio (Mehlich-I) que se encontram nas situações de alta e de muita alta fertilidade, totalizam cerca de 72,1% das amostras. Verifica-se que apenas 27,9% das amostras com os teores de potássio se encontram nas situações de média, baixa e muito baixa fertilidade do solo e que necessitam de doses de adubação de correção para potássio no solo.

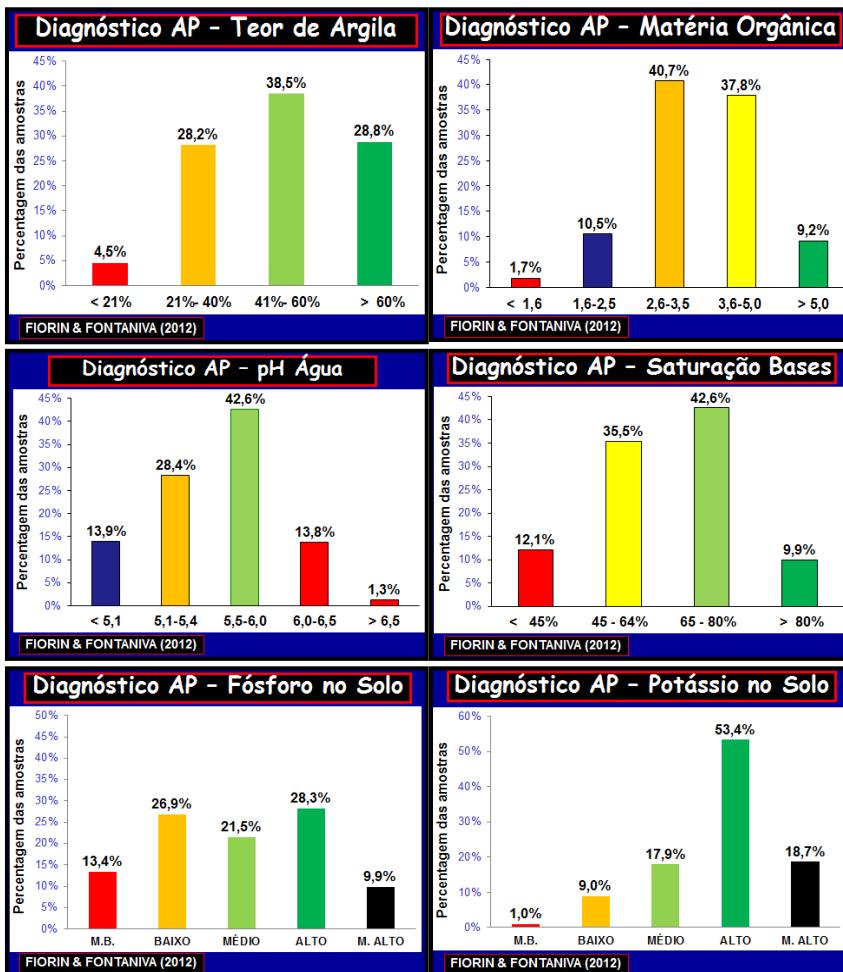


Figura 4 Diagnóstico da fertilidade do solo em áreas de agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. CCGL TEC. Cruz Alta, RS, 2012.

Entretanto, analisando o banco de dados de algumas cooperativas, é oportuno relatar que existem diferenças significativas entre regiões. A Figura 5 ilustra situações contrastantes para acidez e teores de fósforo no solo de duas cooperativas, simplesmente denominadas como cooperativa “A” e “B”.

Portanto o que é válido para a cooperativa A não é aplicável na cooperativa B. É importante que se tenha em mente que o padrão de variabilidade de uma área é intrínseco da mesma e pode estar associado a múltiplas causas associadas a fatores locais. Assim, é de grande importância caracterizar esta variabilidade para que seja possível gerar conhecimento bem

como validar propostas de manejo diferenciadas objetivando adaptar a agricultura de precisão às diferentes realidades do sistema cooperativo do RS.

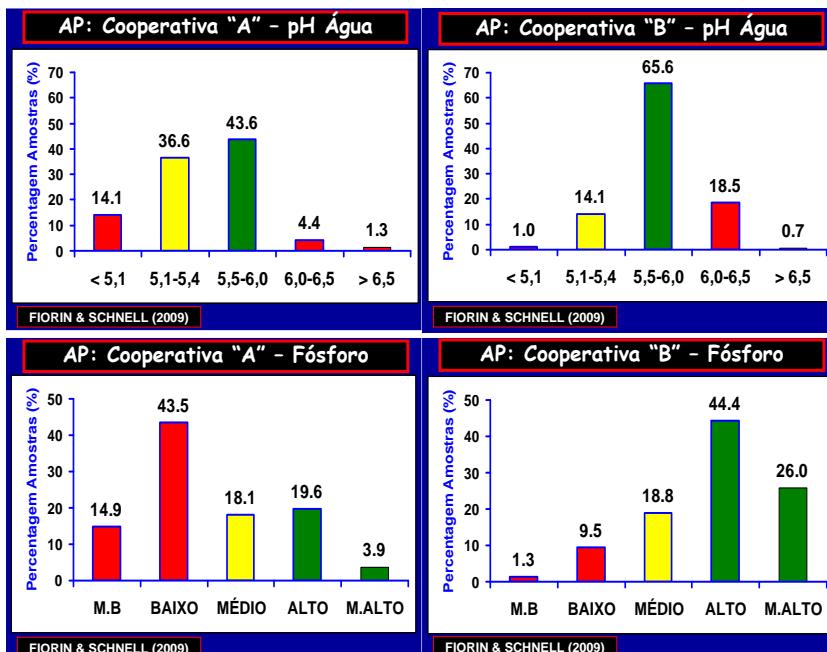


Figura 5 Variação dos valores de pH água e fósforo em áreas manejadas em agricultura de precisão no sistema cooperativo do RS. FUNDACEP. Cruz Alta, RS, 2012.

Com base nisto, nas tomadas de decisões visando à definição de necessidade de aplicação de fertilizantes e corretivos à taxas variadas especialmente à correção de deficiências nas áreas manejadas em AP no RS, intervenções localizadas objetivando à correção da acidez e dos teores de P, mostram-se com grande potencial de retorno econômico. Por outro lado, para o K esta probabilidade é pequena, associando a isto, a possibilidade de redução da fertilização em algumas situações. A realocação de fertilizantes é uma das principais características da agricultura de precisão.

2.5 Viabilidade técnica e econômica da agricultura de precisão no Sistema Cooperativo do Rio Grande do Sul

Nos últimos anos a Agricultura de Precisão (AP) tem sido adotada como uma importante ferramenta tecnológica no processo produtivo. Esse assunto tem ganhado visibilidade no agronegócio gaúcho colocando as cooperativas junto às

evoluções tecnológicas, que têm oferecido consultoria especializada nessa área aos seus associados.

Os benefícios oriundos da adoção da agricultura de precisão estão intimamente relacionados à variabilidade encontrada nas lavouras e ao nível de acerto que tecnicamente podem ser obtidos nas diferentes fases do processo. Isso influencia diretamente os ganhos em produtividade e/ou redução de custos, e consequentemente, a viabilidade técnica e econômica dessa ferramenta tecnológica.

Ainda são escassas as informações disponíveis sobre a relação entre os custos e os benefícios resultantes da adoção deste sistema de produção, contudo as poucas análises e mesmo a percepção dos usuários apontam para uma relação bastante favorável. É oportuno lembrar que o manejo de uma lavoura pela média pode resultar em recomendações mais econômicas, porém tecnicamente equivocadas, por apresentar um menor nível de acerto e uma menor possibilidade de ganhos em produtividade.

Convém lembrar que não é uma tarefa fácil quantificar alguns dos indicadores, especialmente relacionado à falta de “cultura” de gerar e registrar informações a nível de produtor. No entanto, a presente proposta tem como objetivo reunir informações, na forma de estudos de casos de produtores associados das cooperativas, relativos aos custos envolvidos na adoção da tecnologia e os ganhos com aumento da produtividade e/ou redução de custos, comparativamente à forma convencional que o produtor utiliza.

Nesse sentido a CCGL TEC preocupada com os resultados que a adoção dessa ferramenta tecnológica tem proporcionado ao produtor, vem por meio deste, em conjunto com o Conselho Técnico de Grãos da CCGL TEC, propor um estudo de viabilidade técnica e econômica da agricultura de precisão no Sistema Cooperativo do Rio Grande do Sul, apresentado por Fiorin et al. (2011) e descrito a seguir.

A avaliação técnica e econômica foi realizada em sete situações de lavouras, em produtores associados das cooperativas COTRIJUÍ (Ijuí-RS), COTRIBÁ (Ibirubá-RS) e COOPATRIGO (São Luiz Gonzaga-RS). Em cada situação de propriedade, as áreas conduzidas com técnicas de agricultura de precisão foram comparadas a áreas conduzidas da forma convencional, as quais foram escolhidas levando em consideração a proximidade e a semelhança em histórico de manejo. Os critérios técnicos das propostas de recomendações de adubação e calagem obedeceram aos critérios adotados por cada cooperativa, seguindo os princípios de manejo sitio específico, definido pelo grid amostral e aplicação de fertilizantes e corretivos a taxa variável, para a condução das áreas de agricultura de precisão, e da recomendação pela média e aplicação de fertilizantes e corretivos à taxa fixa, para a condução das áreas na forma convencional.

Foram obtidos o custo operacional, a receita bruta e o saldo operacional nas lavouras conduzidas em agricultura de precisão (AP) comparativamente à forma convencional.

Nos custos envolvidos na adoção da agricultura de precisão foram considerados os custos operacionais, relativos à amostragem de solo, análise de laboratório, geração de mapas, aplicação à taxa variável de fósforo, potássio, calcário, bem como os custos dos fertilizantes e corretivos utilizados no processo de correção e/ou uniformização das condições de fertilidade da área. Esses custos foram considerados como investimento para 3 anos e/ou cultivos econômicos. Adicional a isso, na agricultura de precisão foram considerados os custos envolvidos na adubação de manutenção, aplicada a taxa fixa e uniforme na linha por ocasião da semeadura das culturas.

Nos custos envolvidos na agricultura convencional foram considerados os custos com as quantidades de fertilizantes que o produtor aplicou na área, à taxa fixa, objetivando atingir boas produtividades. Adicional a isso, foi considerado os custos com aplicação de calcário a taxa fixa (produto+aplicação), utilizados de maneira uniforme nas lavouras de produtores associados da COTRIBÁ e COOPATRIGO. Os custos da calagem na agricultura convencional foram considerados como investimento para 3 anos e/ou cultivos econômicos.

A receita bruta foi obtida através da totalização da produção em cada área e os preços de venda praticados, de forma comparativa na agricultura de precisão e na convencional, estimada em R\$ ha⁻¹. O saldo operacional foi obtido através da receita bruta menos o custo operacional total, de forma comparativa na agricultura de precisão e na convencional, estimada em R\$ ha⁻¹.

Os preços dos serviços, insumos e dos produtos agrícolas (soja e milho) foram baseados nos valores médios praticados pela cooperativa. A avaliação econômica de lavouras conduzidas em agricultura de precisão comparada a forma convencional, em produtores associados das cooperativas COTRIJUÍ, COTRIBÁ e COOPATRIGO, é apresentada na Tabela 1.

A produtividade das culturas avaliada nas lavouras manejadas em agricultura de precisão foram superiores em 3,1 a 10,0 sacas ha⁻¹ de soja e em 25,0 sacas ha⁻¹ de milho, comparativamente a forma convencional, refletindo de maneira direta e proporcional na receita bruta de cada propriedade.

Com relação ao custo operacional total, há situações de lavoura, especialmente quando há a necessidade de investimentos na construção da fertilidade em uma percentagem significativa da área, um custo superior na lavoura manejada em agricultura de precisão. Em outras situações de lavoura de atributos químicos da fertilidade já adequados, pode-se observar uma redução de custos pela economia de fertilizantes e corretivos. No entanto isso somente é possível quando o manejo em agricultura de precisão, que através do grid de amostragem mais intenso, comparado a agricultura convencional, permite uma precisão no diagnóstico suficientemente seguro para assumir que se pode recomendar doses menores sem perder produtividade.

Tabela 1 Avaliação econômica de lavouras conduzidas em agricultura de precisão (AP) comparativamente a forma convencional (Conv.), em produtores associados das cooperativas COTRIJUÍ, COTRIBÁ E COOPATRIGO. CCGL TEC. Cruz Alta, RS. 2011.

Coopera- tiva	Manejo	Área (ha)	Cultura	Produti- vidade sc ha ⁻¹	Custo Taxa Variável			Custo Taxa Fixa			Custo Total R\$ ha ⁻¹	Receita Bruta R\$ ha ⁻¹	Saldo Operacional %		
					Serviço		Insulmo R\$ ha ⁻¹	Total R\$ há ano ⁻¹	Total kg há ⁻¹	Custo R\$ ha ⁻¹					
					Insulmo R\$ ha ⁻¹	Total R\$ há ano ⁻¹									
Cotrijúi	AP	60,0	Soja	71,0	68,50	575,70	644,20	214,73	100	110,00	324,73	3003,30	2678,57	109,2	
	Conv.	85,0	Soja	65,0	---	---	---	---	270	297,00	2749,50	2452,50	100,0		
Cotrijúi	AP	53,8	Soja	71,0	71,30	319,60	390,90	130,30	100	110,00	240,30	3003,30	2763,00	110,6	
	Conv.	45,0	Soja	66,0	---	---	---	---	280	294,00	2791,80	2497,80	100,0		
Cotrijúi	AP	60,0	Soja	58,0	84,60	392,50	477,10	159,03	80	84,00	243,03	2453,40	2210,37	111,1	
	Conv.	45,0	Soja	52,0	---	---	---	---	200	210,00	210,00	2199,60	1989,60	100,0	
Cotrijúi	AP	28,0	Soja	60,0	77,20	387,10	464,30	154,77	100	105,00	259,77	2538,00	2278,23	112,7	
	Conv.	28,0	Soja	54,0	---	---	---	---	250	262,50	262,50	2284,20	2021,70	100,0	
Cotribá	AP	114,6	Soja	70,0	78,00	319,00	397,00	132,33	270	334,50	466,83	2905,00	2438,20	113,7	
	Conv.	114,6	Soja	60,0	---	---	---	---	346,00	346,00	346,00	2490,00	2144,00	100,0	
Cotribá	AP	81,6	Milho	200,0	86,50	361,60	448,10	149,37	410	513,50	662,90	5200,00	4537,10	111,5	
	Conv.	81,6	Milho	175,0	---	---	---	---	360**	346,00	346,00	4550,00	4068,60	100,0	
Coopatrigó	AP	46,7	Soja	53,2	77,48	281,79	359,27	119,76	100	112,50	232,26	2250,36	2018,10	113,4	
	Conv.	46,7	Soja	50,1	---	---	---	---	220***	339,17	339,17	2119,23	1780,06	100,0	

* Os custos operacionais (serviços e insumos) da agricultura de precisão são considerados como investimento para 3 anos.

** Foi aplicado 2,5 t ha⁻¹ de calcário/gesso de maneira uniforme com um custo total de R\$ ha⁻¹ 225,00 e R\$ há ano⁻¹ 75,00 (investimento para 3 anos).

*** Foi aplicado 3,0 t ha⁻¹ de calcário de maneira uniforme com um custo total de R\$ ha⁻¹ 275,00 e R\$ há ano⁻¹ 91,67 (investimento para 3 anos).

No entanto, os resultados econômicos alcançados pelas lavouras manejadas com técnicas de agricultura de precisão, avaliados através do saldo operacional, mostram, em todas as situações, superiores, comparativamente a forma convencional. Apesar dos benefícios oriundos da adoção da agricultura de precisão em termos de ganhos em produtividade e/ou redução de custos estarem intimamente relacionados à variabilidade encontrada nas lavouras e ao nível de acerto que tecnicamente podem ser obtidos nas diferentes fases do processo, o estudo mostra que o retorno econômico ao produtor foi positivo, variando de 9,2% a 13,7%, na média de 11,7%.

2.6 Rumos da Agricultura de Precisão Baseado na Correção de Solos e Nutrição de Plantas

2.6.1 A Concepção Inicial da Agricultura de Precisão

A Agricultura de Precisão (AP) baseia-se no manejo diferenciado dos fatores da produção, considerando a variabilidade espacial e adequando as intervenções em sítio-específico de acordo com necessidades das culturas em cada ponto da lavoura.

Os trabalhos iniciais em AP, como já foram relatados, concentraram-se no manejo da variabilidade de atributos químicos do solo, pois em várias situações de campo, os benefícios gerados traziam ganhos imediatos tanto na racionalização no uso de insumos como na elevação da produtividade (AMADO & SANTI, 2007). O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo é importante na coleta de amostras representativas, fundamental para uma indicação correta de fertilizantes e de corretivos para cada ponto da lavoura. A decisão dos procedimentos a serem adotados deve obedecer um equilíbrio entre os custos envolvidos e seu retorno. Baseado no monitoramento das áreas conduzidas com essa ferramenta constata-se um grande nível de acerto e aumento significativo na eficiência dos insumos aplicados a taxa variada, quando comparado à forma tradicional.

No histórico de sua evolução, dentre as ferramentas utilizadas, a amostragem georreferenciada de solo constitui-se como uma das mais popularizadas. A AP, pelo grande volume de informações, e se manipuladas de forma inteligente, pode constituir-se numa ferramenta de pesquisa importante no atendimento do desafio que busca altas produtividades. Nesse sentido, pode-se priorizar a implantação em etapas, e num primeiro momento, atender as melhorias dos atributos químicos associados à acidez, fósforo e potássio, através do manejo da sua variabilidade na camada diagnóstica superficial do solo. Após minimizar essas limitações relativas à fertilidade, os usuários de AP não devem limitar-se a aplicação de insumos a taxa variada sem antes investigar se essa é realmente a principal causa da variabilidade da produtividade em suas

lavouras. Em muitas situações, percebe-se que os mapas de produtividade não tem uma relação direta com a variabilidade dos atributos relacionados à fertilidade do solo. Num processo constante de melhorias, motivado pela qualificação técnica dos profissionais e a disponibilidade de novas ferramentas tecnológicas, a AP deve evoluir no gerenciamento dos fatores de produção conduzindo ao aprimoramento do manejo das culturas. A pesquisa aponta a utilização de novos parâmetros que podem ser inseridos neste contexto, entre elas a identificação de zonas de manejo homogêneas quanto ao potencial produtivo e a eficiência do uso de insumos.

2.6.2 Rumos da Agricultura de Precisão: Perspectivas e Desafios

Na AP, existem outros desafios relacionados à fertilidade do solo e nutrição das plantas. A busca constante por altas produtividades tem proporcionado à disponibilização de novas cultivares/híbridos, muitos dos quais selecionados em condições adequadas (não limitantes) de fertilidade do solo. Algumas culturas, entre elas a soja, modificaram o seu perfil de resposta à alguns fatores de produção, em consequência da redução do seu ciclo, alteração na relação entre a parte aérea e o sistema radicular, que associados ao alto potencial produtivo, exigem além de quantidades maiores de nutrientes, que estes estejam *“mais prontamente disponíveis”* num espaço de tempo (ciclo) relativamente mais curto. Diante disso, a percepção é que há a necessidade de rever os indicadores da recomendação de fertilizantes e corretivos de acidez do solo. Nesse sentido, uma proposta de novas faixas de interpretação dos teores de P e K no solo, que estão sendo usadas desde 2008 em lavouras manejadas em AP no Sistema Cooperativo do RS, são apresentadas Fiorin et al. (2012) e discutidas no Item 1.6.2.1.

Entretanto, a utilização de altas doses de calcário e fertilizante é questionada por diversos autores devido a fatores com resposta a adubação, supercalagem, eficiência de correção em profundidade, altos custos, entre outros aspectos. A formação de gradiente químico no solo, embora seja um processo que ocorre normalmente em áreas manejadas em plantio direto, tem sido apontada como uma das preocupações no manejo da fertilidade do solo. Neste sentido, questiona-se a eficiência agronômica da adubação à taxa variável em superfície, especialmente do fósforo, pela sua baixa mobilidade, dificultando seu aprofundamento no solo. Estudos desenvolvidos desde 2008, nas áreas de pesquisas do Projeto Cooperativo de Agricultura de Precisão do RS, demonstram que as intervenções de correção à taxa variada na superfície, associadas às adubações de manutenção a taxa fixa na linha com sulcador, contribuíram para o incremento dos teores de P e K em profundidade, caracterizando-se como uma estratégia eficiente para melhoria da fertilidade do solo (SANTI et al., 2012).

A Comissão (2004) utiliza para a tomada de decisão da necessidade de calagem em áreas de plantio direto, corrigir a acidez do solo quando pelo menos um dos critérios não foram atendidos, pH em água for inferior a 5,5 e/ou a saturação por bases for inferior a 65%, com base em análises de solo amostrado na camada de 0 a 10 cm de profundidade. Entretanto, em lavouras manejadas para alta produtividade, tem sido observado com frequência aumentos na produtividade de grãos mesmo em situações de solo com pH em água igual ou imediatamente superior a 5,5. Entre as hipóteses, acredita-se que as cultivares de soja, trigo e híbridos de milho, hoje disponíveis, foram selecionados em condições adequadas de solo corrigido, e que a genética presente nesses materiais, muitos dos quais oriundos de países em que a acidez do solo não é um fator restritivo, apresente limitação de produtividade em condições de solo com pH em água igual ou imediatamente superior a 5,5. É oportuno mencionar que nas condições de manejo de lavouras para alta produtividade, para tomada de decisão da necessidade de calagem e a definição de doses em áreas de plantio direto com aplicação em superfície devem ser revistos.

No entanto, observa-se também na Região Sul do Brasil, áreas de plantio direto com histórico de manejo inadequado, pouca palhada, indicativo de solo adensado e sintomas visíveis de erosão do solo em certas posições da lavoura. Neste caso, concorda-se que não somente o manejo da fertilidade do solo, como também as questões antes mencionadas devem ser melhoradas para que o posicionamento da recomendação de calagem e adubação em taxa variável tenha a eficiência esperada.

Aliado a isso, há uma expressão significativa de áreas de campo natural que na década de 1990 foram incorporadas ao sistema de produção de grãos em plantio direto com histórico de correção superficial de acidez do solo. Essas áreas, em especial aquelas sob solos originalmente muito ácidos, encontram-se atualmente com os indicadores de acidez em profundidade em níveis preocupantes. Convém ressaltar que, embora a recomendação de calagem preconizava a correção integral da acidez com a incorporação do corretivo, as condições econômicas da agricultura na época não permitiram que o produtor conduzisse este processo de maneira tecnicamente correto. Nessa situação, estratégias devem ser estabelecidas, pois as culturas podem estar limitadas em sua capacidade para expressar altas produtividades, induzidas pela concentração de suas raízes nas primeiras camadas, agravando o efeito de déficits hídricos. Entre as alternativas, a aplicação e incorporação de corretivo de acidez, certamente promoverá uma maior eficiência na correção da acidez. Entretanto, existe uma certa resistência ao revolvimento do solo, pois tem sido apontado como um risco de tornar o solo mais exposto a erosão. A utilização de gesso como condicionador de solo tem sido apontada como outra alternativa para amenizar as condições restritivas de acidez e permitir um melhor crescimento radicular em profundidade. Independente se são estas ou outras alternativas, todas devem ser baseadas em critérios relativos de custo/benefício que a pesquisa deve apontar, como também em questões tão importantes

quanto as da realidade da lavoura, principalmente associada aos riscos de erosão, capacidade de investimento, se áreas próprias ou arrendadas, entre outros.

Nos Estados do RS e SC a recomendação de calagem é feita com base no Índice SMP (COMISSÃO..., 2004). O método da elevação da saturação por bases pela sua relação com os valores de pH, possibilita o seu uso. Em rotações de culturas, e particularmente no sistema plantio direto, o critério da saturação por bases é bastante utilizado. Deve-se, entretanto, considerar que alguns solos (aproximadamente 15% dos solos do Estado do RS) apresentam pH em água menor que 5,5 e saturação da CTC por bases maior que 65%. As quantidades de calcário a adicionar, estimadas pelo índice SMP e calculadas pela saturação da CTC por bases podem ser, portanto, diferentes. Com o objetivo de avaliar a relação entre o pH e a saturação por bases nas áreas manejadas em agricultura de precisão no RS foi realizado um trabalho apresentado por Fiorin & Silva (2013) e descrito no Item 1.6.2.2.

A percepção que a adoção das diferentes ferramentas tecnológicas da AP deve ocorrer em etapas, considerando principalmente o estádio tecnológico em que o produtor se encontra. Num primeiro momento, as melhorias dos atributos químicos associados à acidez, fósforo e potássio devem ser atendidas através do manejo da sua variabilidade na camada diagnóstica superficial. Num segundo momento, deve investigar os ganhos associados à melhoria no manejo de outros nutrientes (N, S, etc.), aliado à percepção da planta, através do monitoramento da análise foliar e a produtividade das culturas.

Em se tratando de desafios relacionados à fertilidade do solo na busca por altas produtividades, é oportuno relatar a situação dos teores de enxofre nos solos das áreas manejadas em AP no RS apresentada por Silva et al. (2013) e descrita no Item 1.6.2.3.

Concomitante a isso, num processo constante de melhorias, a AP deve evoluir pela utilização de novas ferramentas para o gerenciamento dos fatores de produção em zonas de manejo homogêneas. Após minimizar as limitações relativas à fertilidade do solo, a pesquisa em AP tem apontado para a utilização de novas ferramentas, gerenciando-se os fatores de produção em zonas de manejo homogêneas. Isso está associado à percepção de que nesta fase a variabilidade da produtividade das culturas não tem mais relação direta com os atributos relacionados à fertilidade do solo. Uma zona de manejo é definida como uma sub-região da lavoura que apresenta uma combinação de fatores limitantes de produtividade para a qual se pode aplicar uma dose uniforme de insumos. Geralmente as zonas de manejo se modificam muito pouco de ano para ano. A identificação dos parâmetros que estão afetando a produtividade depende dos custos na obtenção das informações necessárias para estabelecer as zonas de manejo e da estabilidade dos parâmetros utilizados. Comumente tem sido utilizado na definição de zonas de manejo, o histórico da produtividade da área, obtido por meio de monitores de colheita ou estimativas de produtividade por

meio de imagens multiespectrais, mapa de condutividade elétrica do solo, mapas de classificação de solos, características topográficas, histórico da área e uso de sensores. A sobreposição de mapas temáticos dessas variáveis que não apresentam variabilidade temporal é decisiva para a definição de zonas de manejo representativas de cada lavoura, que certamente se constituirá numa nova fase da agricultura de precisão.

2.6.2.1 Recomendação de adubação fosfatada e potássica para alta produtividade

Atualmente as recomendações de fertilidade do solo para áreas de agricultura de precisão utilizam as mesmas recomendações oficiais da Comissão de Química e Fertilidade do Solo para RS e SC (COMISSÃO..., 2004). As tabelas atuais levam em consideração os teores críticos no solo a partir do qual se atinge 90% do potencial relativo das culturas. Este valor é demonstrado pelo limite superior da classe de teor médio. Dessa forma se define os teores críticos para os nutrientes no solo, considerando que a partir destes níveis o incremento da adubação não se reproduz em eficiência econômica. As doses de fertilizantes contidas nas tabelas estimam a quantidade necessária para o solo atingir o limite inferior na faixa de teor alto (teor crítico) em dois cultivos: adubação corretiva na proporção de 2/3 no 1º cultivo e 1/3 no 2º cultivo, somado a exportação desses nutrientes pelos grãos acrescidos da estimativa de perdas diversas do sistema criando assim o conceito de adubação de correção e adubação de manutenção para as culturas (COMISSÃO..., 2004).

No entanto, o atual sistema de recomendação baseia-se em estudos de calibração feitos entre o final da década de 1960 e meados da década de 1980 no sistema convencional de cultivo, com a utilização do método Mehlich-1 para a determinação de fósforo e potássio do solo e nos conhecimentos acumulados até sua edição. Porém, a partir da década de 1990, ocorreu uma mudança de sistema de cultivo, passando do convencional para o sistema plantio direto, com diferenças importantes entre ambos (SCHLINDWEIN & GIANELO, 2006). Além disso, amostrando a uma menor profundidade, onde os nutrientes estão mais concentrados, os maiores teores da análise de solo, automaticamente, indicam uma menor recomendação de fertilizantes, e acredita-se estar sendo compensado pelas melhorias atribuídas ao sistema plantio direto (FIORIN, 2007).

Schlindwein (2003) critica os teores críticos, e por consequência as faixas de fertilidade de fósforo e potássio da atual recomendação, por ter sido feita a calibração no sistema convencional de cultivo, além da amostragem de solo ser realizada na camada de maior concentração de fósforo e de potássio e o potencial de produtividade das culturas ser maior, necessitando de mais nutrientes para seu crescimento e exportação.

Deve-se considerar que neste período houve alteração no processo de amostragem que no plantio convencional era utilizado a camada de 0 a 20 cm e atualmente é realizada amostragens nas camadas de 0 a 10 cm (DIAS, 2013). A adoção do SPD modificou a dinâmica dos nutrientes no solo causando mudanças na fertilidade, em relação ao SPC. Nos estudos comparativos do SPD e SPC, amostrando a uma menor profundidade, onde os nutrientes estão mais concentrados, os maiores teores da análise de solo, automaticamente, indicam uma menor recomendação de fertilizantes, e acredita-se estar compensando as melhorias atribuídas ao SPD (FIORIN, 2007). Dessa forma, a recomendação desenvolvida para o SPC passou a ser utilizada no SPD com amostragem de solo 0 a 10 cm.

Em relação ao manejo e a fertilidade do solo, uma prática que melhora os atributos do solo é o sistema plantio direto. A mudança no sistema de cultivo altera as características químicas, físicas e biológicas, bem como suas interrelações no solo, causando mudanças na fertilidade, em relação ao sistema convencional, necessitando de novos estudos e procedimentos de amostragem para as recomendações de fertilizantes no sistema de plantio direto (ANGHINONI & SALET, 1995).

Em agricultura de precisão se estuda a variabilidade espacial demonstrada pelos mapas de fertilidade do solo. As recomendações da mesma forma tendem a possuir variabilidade, por isso métodos alternativos necessitam serem estudados a fim de ajustar a recomendação em cada ponto da área. As interpretações contidas no Manual de Adubação e Calagem são atualmente utilizadas para a geração dos mapas de aplicação a taxa variada visando a racionalização do uso de fertilizantes.

Schlindwein (2003) critica os teores críticos dizendo que as faixas de fertilidade de P e K da atual recomendação estão subestimados, tanto para as amostras na camada 0-20, como na 0-10 cm e, que as doses de P e K, recomendadas para as culturas soja, milho e trigo, também estão subestimadas. O autor sugere doses maiores do que as doses recomendadas pela Comissão... (2004) e estas, podem aumentar mais rapidamente os teores de P e de K do solo e o rendimento das culturas.

Nesse sentido, para a recomendação de doses de fósforo e potássio objetivando altas produtividades no SPD com amostragem na camada de 0 a 10 cm, utiliza-se de uma proposta de novas faixas de interpretação dos teores de P e K no solo (Tabela 2), que estão sendo usadas desde 2008 em lavouras manejadas em AP no Sistema Cooperativo do RS, elaborada a partir dos dados adquiridos em Schlindwein (2003) e discutidos por Fiorin et al. (2012).

Neste estudo foram utilizados experimentos conduzidos por diferentes instituições, em vários solos, com diferentes épocas de cultivo, tempo de condução, delineamento experimental e tratamentos. Nesses experimentos foi possível obter as amostras de solo dos tratamentos com doses crescentes de P e K, bem como da testemunha (sem fertilizante) e os respectivos rendimentos

das culturas. Foram utilizados 35 experimentos, com doses de P (18) e K (17), principalmente na região do Planalto Riograndense, onde predominam os latossolos cultivados com soja, trigo e milho. Esses estudos fazem parte do programa de recomendações de fertilizantes para as culturas sob SPD, sendo 30 realizados por cooperativas (COTRISOJA, COTRIJAL, COTREL, COPALMA, COTRIJUI, COTRIPAL, COTRIBÁ) em convênio com a FUNDACEP, 02 pela UFRGS, 02 pela EMBRAPA-TRIGO e 01 pela UFSM. Foram coletadas amostras de solo das camadas 0-20 e 0-10 cm de profundidade, e através dos resultados de análises, comparados à resposta das culturas (rendimento de grãos), permitiu re-calibrar os teores críticos de P e K do solo.

Tabela 2 Proposta de faixas de interpretação dos teores de fósforo no solo conforme o teor de argila e de potássio no solo conforme a capacidade de troca de cátions (CTC), extraídos pela solução de Mehlich-I (Fiorin *et al.*, 2012)

Faixas de Interpretação	Teor de Fósforo no Solo					Teor de Potássio no Solo			
	Classe de solo conforme o teor de argila ⁽¹⁾				CTC a pH 7,0(cmol _c .dm ⁻³)	≤ 5,0	5,1–10,0	10,1–15,0	> 15,0
	1	2	3	4					
----- mg dm ⁻³ -----									
Muito Baixo	≤ 3,0	≤ 4,0	≤ 6,0	≤ 8,0	≤ 20	≤ 30	≤ 40	≤ 50	
Baixo	3,1–6,0	4,1–8,0	6,1–12,0	8,1–16,0	21–40	31–60	41–80	51–100	
Médio ⁽²⁾	6,1–9,0	8,1–12,0	12,1–18,0	16,1–24,0	41–60	61–90	81–120	101–150	
Alto	9,1–18,0	12,1–24,0	18,1–36,0	24,1–48,0	61–120	91–180	121–240	151–300	
Muito Alto	> 18,0	> 24,0	> 36,0	> 48,0	> 120	> 180	> 240	> 300	

⁽¹⁾Classe 1 = > 60 % de argila; Classe 2 = 60 a 41%; Classe 3 = 40 a 21%; Classe 4 = ≤ 20 % de argila. ⁽²⁾O teor crítico é o limite superior da faixa “Médio”.

Para o P há um aumento nos teores em todas as classes de solo (Tabela 2), que, por consequência, resultará numa maior fertilidade do solo, atendendo assim, a demanda das culturas em absorverem mais nutrientes para poder expressar seu potencial produtivo. Nesta proposta é considerado uma capacidade tampão de fósforo de 20, 15, 10 e 7,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para cada 1 mg dm⁻³ de fósforo que deseja aumentar no solo, respectivamente, nas classes de solo I, II, III e IV, conforme o teor de argila. Na interpretação do K, além de aumentos em seus teores, foi proposto 4 faixas de CTC (Tabela 2), reduzindo a amplitude dos tipos de solos em relação à atual recomendação, que anteriormente variava de 5,1 a 15 cmol_c dm⁻³. Desta forma, separando melhor os solos pode-se adequar de maneira mais eficiente a interpretação e recomendação da adubação potássica. É oportuno mencionar que no estudo de Schlindwein (2003), o teor crítico de potássio no solo amostrado na camada 0-10 cm, na média de 17 experimentos (locais/solos) diferentes, é equivalente a uma saturação da CTC por potássio de 3%.

Essa proposta está de acordo com estudos desenvolvidos por Cubilla (2006) e Fatecha (2010), que ajustaram novos parâmetros para P e K, no SPD e amostragem de 0 a 10 cm.

2.6.2.2 Relação entre pH em água e saturação por bases nas áreas manejadas em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul

Nos RS e SC, a recomendação de calagem é feita com base no método do Índice SMP (KAMINSKI, 1974; ERNANI & ALMEIDA, 1986). Este método se baseia no poder tampão do solo e considera a acidez total (H+Al) para sua neutralização. Este método se utiliza de tabelas para atingir o pH desejado de acordo com a cultura em 5,5; 6,0; ou 6,5 de acordo com os valores dos índices encontrados na análise de solo.

Segundo a Comissão... (2004), nos solos dos Estados do RS e de SC, em média, as porcentagens de saturação da CTC por bases de 65%, 80% e 85% correspondem aos valores de pH em água de 5,5, 6,0 e 6,5 respectivamente. Essa correlação implica na possibilidade de usar o pH ou a saturação por bases, alternativamente, como referência para a meta de calagem, ou índice de acidez do solo, embora não se deva perder de vista que é o pH do solo que interessa para o cultivo de plantas. A hipótese é de que a relação entre pH em água e a saturação por bases é afetada pela diversidade de solos do RS. O entendimento da relação entre o pH em água e a saturação por bases é essencial na tomada de decisão sobre a necessidade e na estimativa da dose de corretivos a ser aplicada. Nesse sentido, foi realizado um trabalho com o objetivo de avaliar a relação entre o pH em água e a saturação por bases nas áreas manejadas em agricultura de precisão Rio Grande do Sul, apresentados por Fiorin & Silva (2013).

Avaliando o comportamento da relação entre o pH em água e a saturação por bases, elaborado a partir do banco de dados de 106.955 análises de solos, das áreas manejadas em agricultura de precisão no RS, observa-se uma dispersão considerável (Figura 6A). Isto está associado, provavelmente a diversidade de solos, uma vez que as áreas manejadas em agricultura de precisão no RS são oriundas de aproximadamente 150 municípios diferentes (FIORIN et al., 2012).

Dessa forma, comprova-se a hipótese de que a diversidade de solo do RS afeta a relação entre pH em água e saturação por bases, bem como, a utilização alternativamente dos valores de saturação por bases como referência para a meta de calagem, ou índice de acidez do solo, parece não serem adequados. Segundo Raij (2011), essas correlações e as interferências que delas decorrem devem ser estudadas regionalmente, visto que é o pH do solo que interessa para o cultivo de plantas.

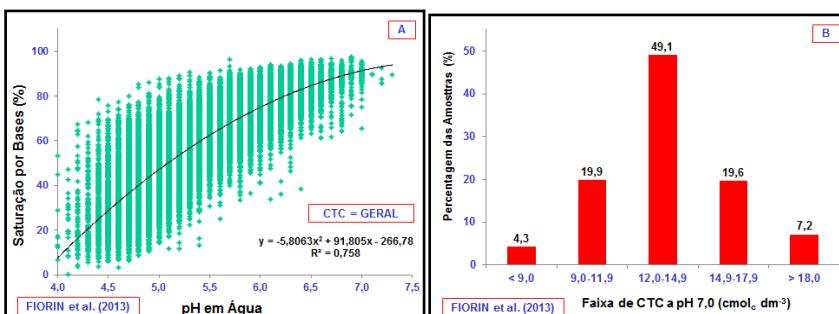


Figura 6 Relação entre o pH em água e a saturação por bases (A) e distribuição de frequência das análises em classes de CTC a pH 7,0 (B) nos solos manejados em agricultura de precisão no RS. CCGL TEC/UNICRUZ. Cruz Alta, RS, 2013.

Para melhorar o entendimento dessa situação, é apresentado na Figura 6B, a distribuição de frequência das análises, relativos aos valores de CTC a pH 7,0. Os solos foram separados em 5 classes de CTC, que são: < 9,0; 9,0 a 11,9; 12,0 a 14,9; 15,0 a 17,9 e \geq 18,0 $\text{cmol}_{\text{cdm}}^{-3}$. Observa-se uma predominância na classe central com 49,1% das amostras com CTC entre 12,0 a 14,9 $\text{cmol}_{\text{cdm}}^{-3}$. Na sequência, 19,9%, 19,6%, 7,2% e 4,3% das amostras encontram-se nas classes de CTC de 9,0 a 11,9; 15,0 a 17,9; \geq 18,0 e < 9,0 $\text{cmol}_{\text{cdm}}^{-3}$, respectivamente.

Em cada classe de CTC foi estudado a relação entre o pH em água e a saturação por bases, ajustando modelos de regressão e através da equação de melhor ajuste, obtendo a equivalência de saturação por bases correspondentes aos valores de pH em água de 5,5, 6,0 e 6,5 (Tabela 3).

Tabela 3 Modelos de regressão, coeficientes de determinação (R^2) e equivalência de saturação por bases correspondentes aos valores de pH em água de 5,5, 6,0 e 6,5, de todas as análises (geral) e em cada classe de CTC a pH 7,0, nos solos manejados em agricultura de precisão no RS. CCGL TEC. Cruz Alta, RS, 2013.

Classes CTC $\text{cmol}_{\text{c}} \text{dm}^{-3}$	Equação de Regressão	R^2	Saturação Bases Equivalente (%)		
			pH 5,5	pH 6,0	pH 6,5
Geral	$Y = -266,78 + 91,805 \text{ pH} - 5,8063 \text{ pH}^2$	0,7580	62,5	75,0	84,6
< 9,0	$Y = -293,11 + 99,379 \text{ pH} - 6,5994 \text{ pH}^2$	0,7052	53,8	65,5	74,0
9,0 – 11,9	$Y = -252,08 + 85,214 \text{ pH} - 5,222 \text{ pH}^2$	0,7613	58,6	71,2	81,2
12,0 – 14,9	$Y = -344,11 + 118,49 \text{ pH} - 8,0937 \text{ pH}^2$	0,8320	62,8	75,5	84,1
15,0 – 17,9	$Y = -430,42 + 150,17 \text{ pH} - 10,874 \text{ pH}^2$	0,8819	66,6	79,1	86,3
$\geq 18,0$	$Y = -386,24 + 138,75 \text{ pH} - 10,054 \text{ pH}^2$	0,7905	72,8	84,3	90,9

Considerando a elevação do pH água para o valor de referência de 6,0, adequado para a maioria das plantas cultivadas, observa-se uma equivalência em saturação por bases de 65,5%, 71,2%, 75,5%, 79,1% e 84,3 %, respectivamente para solos nas classes de CTC de < 9,0; 9,0 a 11,9; 12,0 a 14,9; 15,0 a 17,9 e \geq 18,0 cmol_cdm⁻³.

Com exceção da classe de CTC < 9,0 cmol_cdm⁻³, as demais classes de CTC apresentam coeficientes de determinação superiores, quando comparado ao obtido com todas as análises de solos. Adicional a isso, percebe-se que os solos nas diferentes classes de CTC apresentam comportamento diferenciado para a relação entre o pH água e a saturação por bases. Os solos pertencentes às classes de menor CTC apresentam menores valores de saturação por bases equivalentes quando comparamos as situações de pH em água de 5,5, 6,0 e 6,5. Por outro lado, solos pertencentes às classes de maior CTC apresentam valores de saturação por bases equivalentes superiores. Considerando a elevação do pH em água para o valor de referência de 6,0, adequado para a maioria das plantas cultivadas, observa-se uma equivalência em saturação por bases de 65,5%, 71,2%, 75,5%, 79,1% e 84,3 %, respectivamente para solos nas classes de CTC de < 9,0; 9,0 a 11,9; 12,0 a 14,9; 15,0 a 17,9 e \geq 18,0 cmol_cdm⁻³.

Portanto, é de se esperar que, para os mesmos valores de saturação por bases, os solos de menor CTC apresentam o pH em água relativamente mais elevado, e que, solos com maior CTC, apresentam o pH em água relativamente mais baixo. Em se tratando na determinação da necessidade de calagem para culturas através do critério de elevação da saturação por bases (V%), utilizando um valor de referência, por exemplo, V = 70%, em situações de solos de menor CTC, pode-se elevar o pH em água a níveis acima do adequado, resultando em excesso e desperdício de corretivos, além de ser prejudicial, em especial, pela deficiência de micronutrientes (LACERDA et al., 2006). Entretanto, nos solos de maior CTC, as estimadas da necessidade de corretivos pelo mesmo critério, resultaria em sub doses, proporcionando menor probabilidade de respostas das culturas em aumento da produtividade.

Diante disso, a separação dos solos por classes de CTC pode melhorar o entendimento da relação entre o pH em água e a saturação por bases, permitindo a utilização alternativamente dos valores de saturação por bases na tomada de decisão sobre a necessidade e na estimativa da dose de corretivos a ser aplicada, proporcionando ganhos na eficiência do uso do insumo, sem ocorrer sub dose nem excesso e/ou desperdício.

2.6.2.3 Diagnóstico dos Teores de Enxofre no Solo das Áreas de Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul

O enxofre é um nutriente essencial para as plantas situando-se no grupo dos macronutrientes, juntamente com o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. A essencialidade do enxofre para as plantas é indiscutível, pela

presença essencial dos aminoácidos sulfurados que compõem as proteínas vegetais (THOMAS et al., 1950). As exigências de enxofre pelas culturas variam muito de acordo com a espécie e com a produtividade esperada (ALVAREZ et al., 2007).

O enxofre é, provavelmente, o macronutriente menos empregado nas adubações. No entanto, muitas culturas importantes exigem-no em quantidades maiores ou iguais às de fósforo (MELLO et al., 1984). Nos fertilizantes NPK, o teor de enxofre varia, geralmente, entre 1% e 10%. Nestes fertilizantes, quanto menor for a concentração de nitrogênio, fósforo e potássio, maior a possibilidade de aumento do teor de enxofre nas fórmulas. Fertilizantes com baixa concentração de NPK tendem a conter, em grandes quantidades, como fonte de fósforo, o superfosfato simples, o que aumenta o teor de enxofre. Fórmulas mais concentradas em NPK tendem a conter como fontes de fósforo o monoamônio fosfato (MAP), diamônio fosfato (DAP) e o superfosfato triplo, que têm baixas concentrações de enxofre (STIPP & CASARIN, 2010).

De uma maneira geral, existem poucos estudos sobre a resposta das plantas ao enxofre (OSÓRIO FILHO, 2006). Entretanto, o uso do solo de forma inadequada, resulta em diminuições no teor de matéria orgânica, associado ao uso de corretivos em superfície e fertilizantes concentrados com ausência de enxofre, e às exportações deste elemento pelas colheitas reduzem a disponibilidade de enxofre (OSÓRIO FILHO, 2006). Neste contexto, aumenta-se a probabilidade de resposta das culturas agrícolas à adubação sulfatada, além de tornar áreas deficientes em enxofre (HOROWITZ, 2012).

Necessita-se também esclarecer melhor questões relativas à amostragem de solo para fins de análise de enxofre disponível, à eficácia do método de análise oficialmente utilizado e dar sustentação ao teor crítico adotado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina (OSÓRIO FILHO, 2006). Nesse contexto, a recomendação de fertilizantes sulfatados continua apresentando grande complexidade em função dos inúmeros fatores que controlam a dinâmica do enxofre no solo. Desta maneira, a disponibilidade deste nutriente varia amplamente com as condições de solo, clima e cultivo (TIWARI et al., 1983). Aliado a isso, o interesse em maximizar a produção tem estimulado os produtores a adotarem práticas avançadas de manejo da cultura e do solo. A agricultura de precisão constitui-se numa ferramenta tecnológica que permite o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, fundamental para uma indicação correta de fertilizantes e de corretivos da acidez para cada ponto da lavoura.

O objetivo do trabalho foi diagnosticar a situação dos teores de enxofre nos solos das áreas manejadas em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. O diagnóstico foi realizado utilizando-se de 72.879 análises, amostradas nas áreas de produtores que aderiram à agricultura de precisão no período de 2007 a 2012. Os teores de enxofre extraível do solo foram determinados segundo metodologia proposta pela Comissão... (2004).

A situação dos teores de enxofre extraível do solo nas áreas de agricultura de precisão no Rio Grande do Sul é apresentada na Figura 1. Observa-se que 24,1%, 43,4%, 20,2%, 7,9% e 4,4% das análises dos teores de enxofre extraível, encontram-se, respectivamente, nas faixas de <5,0; 5,1 a 10; 10,1 a 15; 15,1 a 20 e > 20 mg dm⁻³. Considerando o teor crítico de enxofre no solo adotado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, equivalente a 10 mg dm⁻³ (COMISSÃO..., 2004), pode-se afirmar que 67,5% das amostras apresentam probabilidade de respostas a aplicação de fertilizantes contendo enxofre. Segundo Cantarella & Montezano (2010), as faixas de interpretação empregadas em várias regiões do Brasil, apresentam certa convergência, indicando que solos com teores acima de 10 mg dm⁻³ tem menor probabilidade de responder a adição de adubos contendo este elemento. Exceção é observada na calibração feita por Caires et al. (2002) para o Estado do Paraná, em que o teor crítico de enxofre no solo situa-se em torno de 20 a 25 mg dm⁻³, especialmente em culturas de milho e trigo.

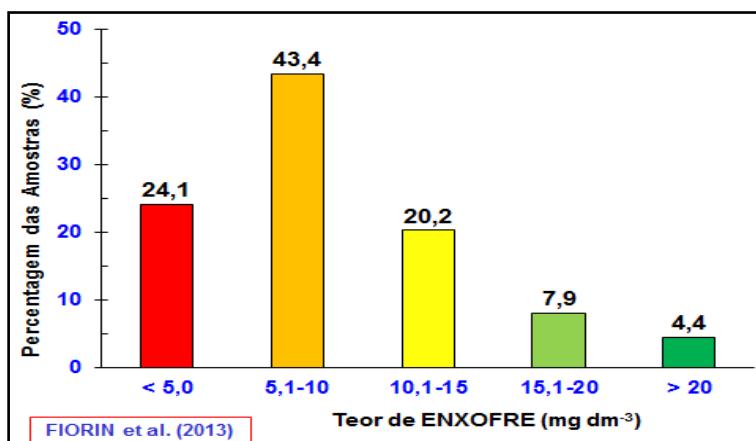


Figura 7 Distribuição de frequência dos teores de enxofre extraíveis nos solos manejados em agricultura de precisão no RS. CCGL TEC. Cruz Alta, RS, 2013.

Certamente há a necessidade de mais pesquisas para dar sustentação ao teor crítico adotado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, especialmente para os sistemas de produção de grãos. Em virtude das altas produtividades que vem sendo obtida, a percepção é que há a necessidade de rever os indicadores da recomendação de fertilizantes de enxofre. Com base nessa premissa, se considerar que os teores críticos de enxofre no solo sejam mais elevados, por exemplo, 15 ou 20 mg dm⁻³, tendência observada por Caires et al (2002) no Paraná, com base no diagnóstico dos teores de enxofre nos solos manejados em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul, percebe-se que 87,7% e 95,6% das amostras, respectivamente, apresentam probabilidade de respostas a

aplicação de fertilizantes contendo enxofre. Destaca-se, ainda, que existem diferenças no comportamento da absorção e redistribuição de enxofre em plantas de milho e soja. Silva et al. (2003) observaram que grande parte do enxofre absorvido pelo milho foi retido na raiz, enquanto a soja absorveu consideravelmente menos enxofre, porém apresentou maior eficiência na translocação do nutriente na planta.

É oportuno lembrar que aproximadamente 90% das amostras são oriundas da profundidade de 0 a 15 cm. A análise da camada superficial do solo, normalmente empregada para a determinação da necessidade de fertilizantes e corretivos, pode não ser suficiente para indicar a disponibilidade de enxofre para as culturas. Duarte & Cantarella (2007) avaliando a disponibilidade de S-SO_4^{2-} em 36 solos agrícolas do Vale do Paranapanema (SP), muitos solos havia grande acúmulo de enxofre abaixo de 20 cm, embora as concentrações desse ânion na camada superficial fossem inferiores a 10 mg dm^{-3} . No entanto, a situação dos baixos teores de enxofre na camada superficial, mesmo que em profundidades maiores os teores sejam mais adequados, a preocupação persiste no atual sistema de produção de grãos.

A utilização de cultivares/híbridos modernos, normalmente de ciclo mais precoces, que associado ao alto potencial produtivo, exige além de quantidades maiores de nutrientes, que estes nutrientes estejam “mais prontamente disponíveis” num espaço de tempo relativamente mais curto. Diante dessa percepção, não há tempo hábil para que as raízes atinjam maiores profundidades em busca do enxofre, sem haver perda de potencial produtivo das culturas. Adicional a isso, Osório Filho (2006) alerta que para alcançarem esta região de acúmulo de nutrientes, as raízes precisam crescer sem impedimentos físicos ou químicos. Se isso ocorrer, com a concentração das raízes na superfície do solo, ao longo dos cultivos, poderão surgir problemas de deficiência de enxofre.

A alta frequência de análises com os teores de enxofre extraível abaixo do crítico, nos solos manejados em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul, pode estar associada às sucessivas exportações do nutriente, através das altas produtividades que vem sendo obtidas nos sistemas de produção de grãos, aliado a utilização frequentes de fertilizantes NPK cada vez mais concentrados e com baixos teores de enxofre. No Rio Grande do Sul, com o advento do sistema plantio direto, as aplicações de calcário são realizadas na superfície sem incorporação. Todavia, o calcário, cuja mobilidade é baixa, promove a dessorção dos nutrientes aniónicos, entre eles o enxofre, na camada superficial (OSÓRIO FILHO, 2006). De imediato, ocorre o aumento da disponibilidade destes elementos para as plantas. Porém, a infiltração de água promove a movimentação do enxofre mineral (S-SO_4^{2-}) para as camadas subsuperficiais, reduzindo, portanto, a sua disponibilidade na camada superficial com o tempo.

Existe alta frequência de baixos teores de enxofre extraível no solo das áreas de agricultura de precisão no Rio Grande do Sul demonstrando alta probabilidade de respostas à aplicação de fertilizantes contendo enxofre.

2.7 Considerações Finais

Inicialmente a AP parecia ter sua aplicabilidade restrita aos grandes produtores e/ou capitalizados. Foi necessário desmistificar isso e entender a AP como sendo uma ferramenta de gerenciamento que pode direcionar a utilização dos fatores de produção conduzindo ao aprimoramento do manejo na busca da eficiência produtiva, independentemente do tamanho da propriedade ou capacidade de investimento. Nesse sentido, no RS, através do papel exercido pelas cooperativas, que respaldadas tecnicamente pela parceria da CCGL TEC com a UFSM, permitiu que a ferramenta atingisse um grande número de produtores, e em especial aqueles com menor capacidade de investimento.

Atualmente existem muitas limitações tecnológicas a serem superadas. Acredita-se que a integração de esforços, certamente contribuirá para garantir a eficiência da AP tanto em ganhos na racionalização de insumos como na elevação da produtividade das culturas. O Rio Grande do Sul pela qualidade dos seus produtores, pelo conjunto de indústrias de máquinas agrícolas, pelas universidades e institutos de pesquisa que possui e pelo desenvolvido sistema cooperativo apresenta todas as condições para o estabelecimento com sucesso da agricultura de precisão.

Agradecimentos

Aos departamentos técnicos das cooperativas vinculadas à CCGL TEC pelas informações prestadas bem como pelo auxílio no desenvolvimento das atividades do Projeto Cooperativo de Agricultura de Precisão – APcoop;

Aos produtores associados das cooperativas que disponibilizaram áreas para a instalação e condução de pesquisas em suas propriedades, como também aqueles que de forma pioneira já aderiram a esta ferramenta tecnológica que é a agricultura de precisão.

Referências Bibliográficas

ALVAREZ V.V.H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C.H.; PEREIRA, N.F. **Enxofre**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.B.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.) *Fertilidade do Solo*. Viçosa: SBCS, 2007. p.595-644.

AMADO, T.J.C., SANTI, A.L. **Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo.** In: FIORIN, J.E. (ed.) Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. Passo Fundo, Berthier, 2007. p.99-144.

ANGHINONI, I. & SALET, R.L. Necessidades e metodologias de pesquisa para calibração de métodos de análise de solos e para a determinação da necessidade de calagem no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1. Passo Fundo, 1995. **Resumos...** Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1995. p.107-110.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.2, p.357-364, 2002.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z.F. **Nitrogênio e enxofre.** Em: PROCHNOW, L.I.; STIPP, S.R. (Org.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. 1ed. Piracicaba: IPNI. 2010. v 2, p. 1-65.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 10^a ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2004. 400p.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & SPAGNOLLO, E., Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.777-788, 2005.

CUBILLA ANDRADA, M.M. **Calibração visando recomendações de fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai.** 2005. 160 f. Dissertação (Mestrado) – PPG Ciência do Solo, UFSM, Santa Maria.

DIAS, R.F. **Diagnóstico da fertilidade do solo de áreas em implantação de agricultura de precisão no Rio Grande do Sul.** , 2013. 64 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS.

DUARTE, A.P. & CANTARELLA, H. Adubação em sistemas de produção de soja e milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DO MILHO SAFRINHA: RUMO A ESTABILIDADE, 9., 2007, Dourados, 2007. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. p.44-61. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 89).

ERNANI, P.R. & ALMEIDA, J.A. **Avaliação de métodos de recomendação quantitativa de calcário para os solos do Estado de Santa Catarina.** Lages: UDESC-Curso de Agronomia, 1986. 53p. (Boletim Técnico de Solos, 1)

FATECHA, D.A. Balanço e evolução temporal de fósforo e potássio em três solos sob sistema plantio direto no Paraguai. 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria.

FIORIN, J.E. Manejo e fertilidade do solo no sistema plantio direto. Passo Fundo: Berthier, 2007. 184p.

FIORIN, J. E.; BERTOLLO, G. M.; WYZYKOWSKI, T. Diagnóstico da fertilidade do solo nas áreas de agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 17. 2012, Cruz Alta, RS. **Resultados expandidos...** Cruz Alta: UNICRUZ, 2012. (CD-ROM).

FIORIN, J. E.; BERTOLLO, G. M.; WYZYKOWSKI, T. Adubação fosfatada e potássica para alta produtividade: proposta de nova recomendação. In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 17. 2012, Cruz Alta, RS. **Resultados expandidos...** Cruz Alta: UNICRUZ, 2012. (CD-ROM).

FIORIN, J.E.; COCCO, K.L.T.; AMADO, T.J.C.; WYZYKOWSKI, T.; LORENZONI, J.; SILVA Jr., V.L.R.; HAUSCHILD, F.E.G. **Viabilidade técnica e econômica da agricultura de precisão no sistema cooperativo do Rio Grande do Sul.** Boletim Técnico CCGL TEC. Ano I, Nº 01, Setembro de 2011. 5p.

FIORIN, J.E. & SILVA, A.N. Relação entre pH em água e saturação por bases nas áreas manejadas em agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013. Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC: SBCS, 2013.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A.D. **A agricultura de precisão com o CR Campeiro 7 - Manual do usuário.** Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Depto de Engenharia Rural/Laboratório de Geomática, 2007. 319 p.

HOROWITZ, N. Enxofre em plantas cultivadas no Brasil. **Revista Plantio Direto**, n.127. p.31-35. 2012.

KAMINSKI, J. **Fatores de acidez e necessidade de calcário em solos no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1974. 96 f. (Dissertação de Mestrado em Agronomia - Solos).

LACERDA, R.D.; MENDES, J.S.; CHAVES, L.H.G. Manejo de solos ácidos: comparação de métodos para avaliar a necessidade de calcário dos Solos do Estado da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.6. n.1. 2006.

MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRA NETTO, A.; KIEHL, J.C. **Fertilidade do Solo.** 2. ed. São Paulo: Nobel, 1984, 400 p.

Osorio Filho, B.D. **Dinâmica de enxofre no sistema solo e resposta das culturas à adubação sulfatada.** 2006. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2006.

PIRES, J.L.F.; CUNHA, G.R.; PASINATO, A.; FRANÇA, S.; RAMBO, L. **Discutindo agricultura de precisão – aspectos gerais.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 18 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online; 42). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

SANTI, A.L., FIORIN, J. E., COCCO, K.L.T., CHERUBIN, M.R.; EITELWEIN, M.T. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão. **Revista Plantio Direto**, v.129, p.18-25, 2012.

SCHLINDWEIN, J.A. **Calibração de métodos de determinação de fósforo e potássio do solo sob sistema plantio direto.** 2003. 169f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHLINDWEIN, J.A.; GIANELLO, C. Recomendações de fertilizantes no RS e o impacto na fertilidade do solo e no rendimento das culturas. **Revista Plantio Direto**, Jan/Fev. 2006.

SILVA, A.N., FIORIN, J. E., REBELATO, S.S.; NOWICKI, A.; COLLING, A. Diagnóstico dos teores de enxofre extraível no solo das áreas de agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013. Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC: SBCS, 2013.

SILVA, D.J.; ALVAREZ V.,V.H.; RUIZ, H.A.; SANT'ANA, R. Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.715-721, 2003.

STIPP, S.R. & CASARIN, V. **A importância do enxofre na agricultura brasileira.** Piracicaba: IPNI, 2010. 14-20p. (Informações Agronomicas Nº 129).

THOMAS, M.D; HENDRICKS, R.H; HILL, G.R. Sulfur metabolism in alfalfa. **Soil Science**, v.70, p.19-26, 1950.

TIWARI, K.N.; NIGAN, V.; PATHAK, A.N. Evaluation of some soil test methods for diagnosing sulphur deficiency in rice in alluvial soils of Uttar Pradesh. **Journal the Indian Society Soil Science**, New Delhi, 31: 245-249. 1983.

CAPÍTULO 3

Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão

Elódio Sebem¹

Resumo

O objetivo do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão é qualificar os egressos para que adquiram conhecimentos de alto nível tecnológico na área de Agricultura de Precisão, de forma a aperfeiçoar processos e criar novas tecnologias para atender à demanda da área de agronegócios. O aporte de novas tecnologias como a tecnologia de satélites (geodésicos e imageadores), assim como, a intensa utilização de modernas máquinas e insumos de última geração, a utilização de sistemas de informações geográficas para o apoio ao planejamento das atividades agrícolas e avaliação dos impactos ambientais das mesmas, trouxe a necessidade de requalificar os profissionais das ciências agrárias, agregando novos conhecimentos e problemas a serem resolvidos. O curso vem atendendo aos objetivos propostos quando de sua criação e tem formado uma média de 12 mestres ao ano.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, Pós-Graduação, Qualificação Profissional

Precision Agriculture Postgraduate Program

Abstract

The aim of the Precision Agriculture Postgraduate Program is to qualify the alumni so that they may acquire knowledge of a high technological level in the area of Precision Agriculture, in a way to perfect processes and create new technologies to meet the demand of the agribusiness area. The use of new technologies such as satellite technology (geodesics and imaging), as well as the intense use of modern machines and latest generation inputs, the use of geographic information systems to support the planning of agricultural activities and environmental impact assessment, brought the need to requalify the professionals of the agrarian sciences, adding new knowledge and problems to be solved. The course has met the objectives proposed when it was created and has postgraduate an average of 12 masters a year.

Keywords: Precision Agriculture, Postgraduate, Professional Qualification

¹ Engº Ftal, Dr. Professor EBTT do Colégio Politécnico da UFSM: E-mail: elodiosebem@politecnico.ufsm.br

3.1 Histórico

A Universidade Federal de Santa Maria, idealizada e fundada pelo Professor José Mariano da Rocha Filho, foi criada pela Lei Federal n. 3.834-C, de 14 de dezembro de 1960, com a denominação de Universidade de Santa Maria, instalada em 18 de março de 1961. A UFSM é uma Instituição Federal de Ensino Superior, constituída como Autarquia Especial vinculada ao Ministério da Educação.

A UFSM está localizada no centro geográfico do estado do Rio Grande do Sul, distante 290 km de Porto Alegre. O campus, que abrange a Cidade Universitária “Prof. José Mariano da Rocha Filho”, está localizado na Avenida Roraima, n. 1000, no Bairro Camobi, onde é realizada a maior parte das atividades acadêmicas e administrativas da instituição. Localizada na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul, composta por 59 municípios, com área de 98.215,50 km², representando 36,49% do território gaúcho, interfere significativamente no desenvolvimento regional através da oferta de formas variadas de Educação.

A UFSM possui, hoje, em pleno desenvolvimento, cursos, programas e projetos nas mais diversas áreas do conhecimento humano. A Instituição mantém aproximadamente 100 cursos de graduação com 29.463 alunos distribuídos nos 6 campi da instituição e nos polos de Ensino a Distância (EaD). Na Pós-Graduação a UFSM conta com 54 cursos de Especialização, 46 cursos de Mestrado e 19 cursos de Doutorado, que atendem atualmente 5.648 alunos. Possui ainda 761 alunos que cursam ensino médio e 2.689 em cursos de formação profissional de nível médio. No índice geral de cursos (IGC) do INEP relativas ao ano 2014 posicionaram a UFSM em 16 lugar nacional e em terceiro lugar no estado.

O Colégio Politécnico da UFSM está localizado no prédio 70 do campus universitário e originou-se do Colégio Agrícola de Santa Maria, através da Resolução UFSM 001/2006, aprovada no Conselho Universitário em Sessão de 16/02/2006. Sua criação deu-se pelo Decreto Lei Federal nº 3864, de 24 de janeiro de 1961, denominando de Escola Agrotécnica de Santa Maria, subordinada à Superintendência do Ensino Agrícola e Veterinária do Ministério da Agricultura.

No ano de 1968, através do Decreto Lei 62.178, de 25 de janeiro de 1968, a orientação didática e pedagógica é transferida para a Universidade Federal de Santa Maria, passando a denominar-se Colégio Agrícola de Santa Maria. O Decreto - Lei nº 627, de 13 de junho de 1969 os servidores do Colégio pertencente ao Ministério da Educação e Cultura foram transferidos para o Quadro Único de Pessoal da Universidade Federal de Santa Maria. Em 1982, a Portaria nº 194, de 14 de maio, aprovou o Regimento Interno e a organização curricular de Técnico em Agropecuária e, a Portaria nº 195 de 14 de maio de 1982, declarou a regularidade de estudos levados a efeito, referente à habilitação

em Agropecuária. Posteriormente, em 1983, a Resolução 005/83, institucionalizou e reestruturou o Sistema de Ensino de 2º Grau da Universidade Federal de Santa Maria.

Até 1995, o Colégio oferecia o Curso Técnico em Agropecuária integrado com o segundo Grau, denominação do Ensino Médio na época, através de um núcleo comum e uma parte diversificada, nos termos que previam a Lei 5.692/71 e Parecer 45/72. No ano de 1996, 35% dos candidatos classificados para ingresso na 1ª série do Curso de Técnico em Agropecuária, já haviam concluído o segundo grau, atual Ensino Médio, o que levou o colégio a implementar a sua primeira experiência de organização de cursos seqüenciais (Pós-Ensino Médio), antes mesmo da edição dos decretos 2.208/97 e 5.154/2004, que preveem esta modalidade. O colégio politécnico da UFSM no Enem de 2012 ficou na 23ª posição nacional e na 1ª estadual. Já em 2013 ficou em 130ª posição nacional e novamente em 1ª estadual. Em 2014 ficou em 38ª posição nacional e pelo terceiro ano consecutivo em 1ª estadual.

O curso foi autorizado pela Portaria MEC nº 78 de 13 de agosto de 1996, publicada no DOU 16/08/96 e 04/11/96, sob a nomenclatura de “Modalidade Especial” e reconhecido através da Portaria MEC nº 21 de 18 de maio de 1999. Nesse mesmo ano de 1999, em 23 de outubro, o Conselho Universitário, através do Parecer 054/96, na 541ª Sessão do dia 23/10/96, aprovou Regimento Interno do Colégio ainda em vigência. Também em 1996, a Resolução 002/96 UFSM alterou os artigos 23 e 29 do regimento Geral da UFSM, que trata da Denominação e da Constituição do Colegiado.

Posteriormente com o intuito de atender as necessidades do mercado de trabalho e às expectativas da sociedade, o colégio inicia processo de ampliação de vagas e diversificação dos cursos. Em 1997 inicia o funcionamento do Curso Técnico em Informática, autorizado em 12 de dezembro de 1996, através da portaria MEC 126, publicada no DOU em 18/12/1996, reconhecido em 18 de maio de 1999, pela portaria MEC nº 21. É a primeira experiência, de formação técnica fora do setor primário da economia.

No ano de 2000, o Colégio passou a funcionar nos três turnos, com o início do Curso Técnico em Administração, a noite, autorizado pela portaria MEC nº 22 de 18 de maio de 1999. Também em 2000, foi implantado o curso de Técnico em Agroindústria. A implementação do turno noturno foi uma importante estratégia de inserção daqueles que necessitam trabalhar enquanto finalizam seus estudos.

Posteriormente, em 2003, iniciou o funcionamento dos cursos de Técnico em Jardinagem e Técnico em Geomática, este último com apoio dos professores do Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências Rurais da UFSM e também com apoio de professores do Departamento de Geociências.

A partir do segundo semestre letivo de 2009 foram iniciados dois cursos superiores de tecnologia no Colégio Politécnico da UFSM, o Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Cooperativas e o Curso Superior de Tecnologia em

Geoprocessamento. Este último também com apoio do Centro de Ciências Rurais e Departamento de Engenharia Rural. No segundo semestre do ano 2010 entrou em funcionamento o Curso Superior de Tecnologia em Sistemas para Internet e também dois novos cursos técnicos para o primeiro semestre de 2011: Curso Técnico em Meio Ambiente e Curso Técnico em Contabilidade. Portanto, o Colégio Politécnico além de diversificar e aumentar a oferta de cursos, procura estar alinhado com as demandas da sociedade visando a formação técnica qualificada.

Além dos novos cursos já citados, cabe registrar que do ponto de vista pedagógico e de gestão, inúmeras transformações têm ocorrido no Colégio Politécnico da UFSM. A ampliação das áreas de atuação, a oferta de vagas e a alteração da natureza dos cursos, levaram a instituição a desenvolver competência didático-pedagógica. A instituição descentralizou-se, renovou-se em termos administrativos. O espaço físico interno foi ampliado, reformado e continuam sendo readaptados os espaços externos, internos e os ambientes de aprendizagem. A gestão do colégio politécnico proporciona crescente incentivo à capacitação dos recursos humanos; estímulo à pesquisa e à extensão. O resultado deste processo de aprimoramento tem se refletido nos instrumentos de avaliação institucional como o ENEM, no qual o Colégio Politécnico galhou de forma consecutiva nos últimos anos a primeira posição estadual. Nacionalmente, na última avaliação ficou na 33ª posição.

3.2 Contextualização da proposta

A agricultura brasileira se modernizou muito nos últimos anos. Atualmente, produz-se mais por hectare e cresce a conscientização da necessidade de preservação do meio ambiente. Além disso, a tecnologia embarcada nas modernas máquinas agrícolas em conjunto com o manejo adequado de solo e planta permite que se faça mais e melhor, em menos tempo e com menor uso de insumos, ao mesmo tempo em que o impacto ambiental é diminuído. No entanto, estas transformações são recentes e contínuas demandando a capacitação de forma periódica dos egressos das instituições superiores.

Com as oportunidades de aperfeiçoamento criadas pelo Mestrado Profissional, os profissionais já inseridos no mercado de trabalho e aqueles que aqueles que pretendem ingressar no mesmo possam adquirir conhecimentos específicos e atualizados das inovações tecnologias disponíveis. O perfil dos discentes que são o alvo do Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão é o de profissionais que já se encontram em atividade em empresas privadas, cooperativas ou que sejam profissionais liberais e que com o Mestrado Profissional estarão se habilitando a suprir a demanda qualificada do mercado de trabalho. Ainda, será contemplado aqueles candidatos recém-egressos dos cursos de graduação afins e que queiram especializar-se nesta nova área de

conhecimento, que ainda é pouco abordado nos cursos superiores. O funcionamento do curso incluirá aulas aos finais de semana utilizando, além da quinta e sexta feira a noite, o sábado como dia letivo, fato que ainda não é uma tradição na UFSM. Este fato é relevante para aqueles que precisam trabalhar enquanto realizam seu aprimoramento técnico no mestrado profissional. Além disto, a experiência de lecionar algumas aulas no "chão de fábrica" com participação de técnicos e gerentes de indústria foi tão bem-sucedida e muito bem avaliada pelos pós-graduandos, que será expandida para outras disciplinas com participação de técnicos que estão vinculados a indústria que estão desenvolvendo os novos produtos.

3.3 Composição do quadro docente

Os professores do Colégio Politécnico da UFSM inseridos neste projeto de Mestrado Profissional já possuem experiência na área de concentração do programa. Os professores Claire Delfini Viana Cardoso (Geógrafa com doutorado em Agronomia) e Elódio Sebem (Engenheiro Florestal com doutorado em Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Expressão Gráfica), trabalham na área de geotecnologias aplicadas há vários anos, o professor Luciano Zucuni Pes (Engenheiro Agrônomo com doutorado em Ciência do Solo) que atua na área de solo-máquina e a professora Rosicléia da Silva Bastianello possui mestrado em Letras pela Universidade Federal de Santa Maria (1996) e sua colaboração ao programa visará dar suporte quanto à redação técnica aos pós-graduandos uma vez que estes demonstraram grande dificuldade na redação da dissertação e de artigos técnico-científico.

Unem-se a proposta para compor o quadro de professores permanentes do Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão, profissionais altamente qualificados do Departamento de Engenharia Rural - Centro de Ciências Rurais, do CESNORS (Centro de Ensino Superior Norte do Rio Grande do Sul) um dos novos Campi da UFSM, da Fundacep (Cruz Alta), UFRGS (Porto Alegre) e Unipampa (Itaqui). Estes docentes possuem, além de elevada produção acadêmica na forma artigos e orientações, inserção no mercado profissional através de vários projetos de pesquisa/extensão. Portanto, a proposta do mestrado é multi-institucional, multi-disciplinar e complementar.

O professor titular Enio Giotto, do CCR, trabalha no desenvolvimento de softwares a mais de 20 anos e isso permitiu que o Sistema Campeiro 7 seja atualmente utilizado em todo o país, tanto por profissionais liberais como por empresas e cooperativas agrícolas. O Sistema Campeiro (agora na versão 7.28) além de possuir muitas ferramentas de gestão agropecuária, topografia, sistema de informações geográficas, silvicultura, nutrição animal, entre outras, possui o mais completo sistema computacional de Agricultura de Precisão do Brasil. Este sistema permite que os usuários trabalhem em todas as fases da agricultura de precisão, desde a coleta de informações até a geração de mapas temáticos,

prescrições e relatórios técnicos. Atualmente, o sistema Campeiro tem mais de 4.000 usuários, dos quais mais de 3.000 profissionais trabalham especificamente com Agricultura de Precisão. Destaca-se ainda que o programa Sistema Campeiro tem o custo apenas do treinamento, sendo acessível a praticamente todos usuários. Além disso, o professor Giotto possui larga experiência em projetos de extensão tendo trabalhado em mais de 20 projetos em diversos estados do Brasil. Na área acadêmica podemos salientar a orientação de mais de 50 dissertações de mestrado e 15 monografias de especialização.

O Professor titular Telmo Jorge Carneiro Amado atua como coordenador do programa desde a sua criação, já foi pesquisador da EMPASC (atual EPAGRI) na área de conservação do solo e manejo durante 5 anos. Prestou assessoria técnica à COTRIJAL, STARA e à FUNDACEP visando a condução de experimentos e desenvolvimento na área de agricultura de precisão. Tem experiência na caracterização da variabilidade e recomendação de adubação, além de atuar como consultor da Federação brasileira de plantio direto na palha na área de conservação do solo. Foi também consultor internacional da FAO/ONU para difusão do plantio direto na África entre os anos de 2000 a 2006. Lidera há doze anos o Projeto Aquarius de Agricultura de Precisão, o qual é o mais longevo projeto de pesquisa de Agricultura de Precisão no Brasil. É pesquisador do CNPq desde 1988, ocupando atualmente o nível 1C. Tem 145 artigos científicos publicados em revistas com qualis, orientou 51 pós-graduandos de mestrado, doutorado e pós-doutorado. Participa dos programas de pós-graduação em Ciência do Solo (conceito 5 CAPES) e Engenharia Agrícola (conceito 4), ambos da UFSM.

O Projeto Aquarius utiliza as mais modernas tecnologias e equipamentos disponibilizados por cada uma das empresas privadas parceiras, comprovando a viabilidade técnica da Agricultura de Precisão. O Projeto é desenvolvido em dois talhões da Fazenda Anna – Lagoa e Schmidt, em Não-Me-Toque/RS, totalizando 256 hectares cultivados no sistema de plantio direto, e em outras propriedades da região (Carazinho) que geram tecnologia nacional para o uso do sistema, definindo manejos específicos para cada condição de solo. Para viabilizar o Projeto Aquarius participam, juntamente com os proprietários da Fazenda Anna, Cotrijal, Stara, Pioneer e a Universidade Federal de Santa Maria, que possui um corpo técnico especializado em Agricultura de Precisão, com pesquisadores que trabalham nas áreas de Posicionamento por sistemas GNSS, manejo de solo e máquinas agrícolas. O projeto é uma experiência bem-sucedida da relação universidade-empresa com mais de 15 anos de colaboração contínua.

Já o professor titular Rudiney Soares Pereira, do CCR, com sua formação na área da Engenharia Agrícola trará ao grupo contribuições significativas por sua expertise na área de sensoriamento remoto.

Do Centro de Educação Norte do Rio Grande do Sul, hoje Campus de Frederico, participa do Mestrado Profissional o professor Antônio Luis Santi, que

possue grande experiência na área de Manejo de Solo e Planta. O professor Santi possui a experiência como prestador de serviço na área de agricultura de precisão, colaborador da indústria de máquinas agrícolas (AGCO) e como pesquisador/professor da UFSM. Além disto, tem atuação destacada em levar aos produtores rurais, através de dias de campo e palestras, os princípios do manejo do solo e da agricultura de precisão, sendo o atual coordenador no Brasil, da Rede Ibero-Americana de Intercâmbio de Conhecimento em Agricultura de Precisão que congrega Espanha, Portugal, Argentina, Chile, Nicarágua, Colômbia, Equador, Venezuela e Brasil. O Prof. Santi coordena um laboratório de Agricultura de Precisão (LapSul) e tem destacada produção científica. A partir de 2015 passou a ser pesquisador do CNPq.

O Pesquisador da Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (FUNDACEP/FECOTRIGO) e professor da UNICRUZ, Jackson Ernani Fiorin, tem larga experiência no sistema cooperativo do RS, trará ao Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão a experiência de atuar em importantes linhas de pesquisa: Manejo da Fertilidade do Solo no Sistema Plantio Direto; Agricultura de Precisão; Sistema de Manejo do Solo; Sistemas de Rotação de Culturas; Plantas de Cobertura de Solo; Sistemas de Produção em Áreas Irrigadas por Pivô Central. Além disso, é um recurso humano estratégico por servir de elo de relação com as cooperativas agrícolas, garantindo que as pesquisas geradas no Mestrado Profissional possam alcançar o produtor agrícola.

A partir de 2015, dois novos professores passaram a integrar o mestrado profissional. O Prof. Christian Bredemeier da UFRGS, que possui Doutorado em Agronomia pela Universidade Técnica de Munique, Alemanha (2005) onde desenvolveu pesquisas com sensores de nitrogênio. Atualmente é orientador de mestrado e doutorado no programa de pós-graduação em Agronomia da UFRGS (conceito 5) e irá contribuir para a consolidação da área de sensores de cultura no mestrado profissional em agricultura de precisão. Sua formação na Europa irá contribuir para aportar uma experiência diferenciada em relação ao atual quadro de professores do mestrado profissional. A STARA conta atualmente com um quadro de 45 engenheiros (agrícolas, mecânicos, eletrônicos, mecatrônicos) e 6 analistas de sistema muitos destes egressos da UFSM. A proposta é explorar este amplo quadro de colaboradores da STARA na formação de recursos humanos no mestrado profissional.

Do Departamento de Engenharia Rural – Centro de Ciência Rurais da UFSM, ainda temos a participação do Prof. Adjunto Lúcio de Paula Amaral, que é egresso do mestrado profissional (defesa em fevereiro de 2014) e possui Mestrado em Agronomia, Doutorado em Engenharia Florestal e Especialização em Geomática. O mesmo vem ministrando, a partir do segundo semestre de 2015, a disciplina de Geoestatística, devido ao seu conhecimento na matéria e produção científica com uso da mesma. Ressalta-se que o Prof. Lúcio ministrou a disciplina de Geoestatística no Curso Superior de Tecnologia em

Geoprocessamento do Colégio Politécnico de 2013 a 2015 e assumiu o cargo de Professor do Magistério Superior na UFSM em maio de 2015, é Engenheiro Florestal e atua na área de Geomática aplicada a Recursos Florestais e Engenharia Florestal, bem como em Agricultura de Precisão.

O professor Alexandre Russini possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria (2006), Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Santa Maria (2009) e doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Santa Maria (2012). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal do Pampa, Campus Itaqui, atuando na área de Máquinas e Mecanização agrícola. Entre as linhas de pesquisa destaca-se: Telemetria para Transmissão de Dados de Desempenho de Máquinas Agrícolas Visando o Gerenciamento.

3.4 Planejamento estratégico do programa

O curso de Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão situado no Colégio Politécnico da UFSM (Figura 1) visa promover o desenvolvimento tecnológico e científico nesta área do conhecimento, assim como o intelectual e humano dos profissionais egressos deste curso. Esta contribuição está proporcionando transformações em processos e tecnologias no setor produtivo estadual e nacional.



Figura 1 Identificação Visual do Programa. Fonte: www.ufsm.br/ppgap

O curso abriu sua primeira turma no processo seletivo de ingresso no segundo semestre de 2011 com uma procura de 1,3 candidatos por vaga. A baixa procura neste semestre se deveu ao pouco tempo de divulgação ocorrido entre a aprovação do curso pela CAPES, no final de 2010 e a abertura do edital de seleção no semestre subsequente. A partir deste primeiro edital a média de procura pelo curso tem sido de 2:1.

Em 2012 ocorreram mais dois ingressos ao curso (no 1º e 2º semestres) com um total de 41 alunos regulamente matriculados no final do ano. Em 2013 mais 15 alunos ingressam no curso e ainda no primeiro semestre ocorreu a primeira defesa de dissertação de mestrado. Ao total até 2013 o curso recebeu 56 pós-graduandos. Dentro do período de 24 meses ocorreram 4 defesas e no período de 24-36 meses mais 15 defesas, totalizando 19 defesas de mestrado. Até o final de 2015 tivemos o ingresso de mais 38 discentes, sendo 24 em 2014

e 14 em 2015, totalizando 95 discentes matriculados no programa. Com as defesas de mestrado ocorridas até o final de 2015, o Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão acumula 33 trabalhos concluídos.

A proposta do mestrado profissional é de atender prioritariamente profissionais que concomitante o exercício da sua atividade possam ter a oportunidade de capacitação. Este objetivo está sendo alcançado uma vez que aproximadamente 80% dos discentes possuíam vínculo empregatício na área ou eram diretores de microempresas de consultoria agronômica, 15% dos alunos eram profissionais autônomos que prestavam serviços na área das ciências agrárias e o restante recém-formados que trabalharam durante a graduação em projetos de agricultura de precisão. Destaca-se ainda o relevante papel de capacitação de recursos humanos para a indústria uma vez que colaboradores da Verdes Vales; Cotrijal, Coopatrigo, Stara S. A.; John Deere; Centrosul Máquinas Agrícolas Ltda; Mosaic Fertilizantes do Brasil e TimacAgro - Cia Matas Sóles, Sementes Roos entre outras já foram capacitados no mestrado profissional. Além disto, entidades como a Embrapa Pecuária Sul, Secretaria Municipal de agricultura, E. E. Técnica N. Sra. da Conceição; SENAR; SEST SENAT; UFSM e UNICENTRO também tiveram sua formação acadêmica realizada no programa. Em relação a empresas de assistência técnica agronômica profissionais de várias empresas como Agrocampear; Agropecuária Nemitz; Agropecuária Pessegueiro - APES; AgropLan Serviços Agrícolas; Agrotec Planejamento Agrícola; Analysis Agricultura de Precisão; Base Precisão na Agricultura; Campear Agricultura; Drakkar Solos; Evolução Agrícola Ltda; GT Assessoria Rural e Tropical Melhoramento e Genética Ltda realizaram sua formação acadêmica no mestrado profissional.

O projeto estratégico do programa prevê uma estreita relação universidade-indústria fato que está sendo desenvolvido com aulas sendo ministradas na indústria por técnicos altamente qualificados destas. Além disto, se propõem a manter um quadro docente qualificado e extremamente atualizado e sintonizado com as transformações da agricultura visando que os discentes ao retornar as empresas as quais estejam vinculados sejam agentes da transformação. Além disto, podem atuar como elos entre a universidade-indústria de modo que soluções aos problemas presentes e futuros possam ser obtidas por projetos conjuntos.

3.5 Objetivos

O objetivo geral do programa é capacitar recursos humanos para planejar, manejar, adaptar e desenvolver equipamentos e tecnologias voltados à agricultura de precisão com forte interação entre universidade-empresa-indústria que possibilitem a inovação tecnológica e o aprimoramento da agricultura.

Os objetivos específicos são:

- Atualizar e capacitar profissionais que se encontram atuando na área de agricultura de precisão nos segmentos de indústria, consultoria técnica e empresas familiares (os ingressantes no curso foram na sua maioria oriundos de empresas prestadoras de serviço, indústria de máquinas, cooperativas, instituições públicas, empresas públicas e profissionais autônomos e apenas uma pequena parcela composta por recém formados em cursos de graduação, que ainda não atuaram no mercado de trabalho).

- Proporcionar inovação e avanço tecnológico no setor primário, visando incrementar a eficiência dos processos, a produtividade e a preservação dos recursos naturais;

- Desenvolver projetos de pesquisa com base na demanda que é trazida pelo setor produtivo à universidade invertendo a sistemática atual de formulação dos projetos que tem origem na universidade e que muitas vezes, se encontram dissociados da necessidade do setor primário;

- Desenvolver soluções tecnológicas em conjunto com a indústria de máquinas agrícolas fazendo com que o processo de desenvolvimento e de inovação seja encurtado através do sinergismo indústria-universidade;

- Melhorar a qualidade dos serviços de agricultura de precisão ofertados aos produtores rurais do Brasil;

- Modernizar a agricultura brasileira, independentemente do tamanho da propriedade e da capacidade de investimento;

- Oportunizar atualização tecnológica na agricultura através de palestras, cursos, seminários, programas computacionais, treinamentos e dias de campo.

3.6 Perfil do Egresso

O profissional egresso do curso de Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão será capaz de desenvolver e aperfeiçoar novas tecnologias, métodos ou técnicas relacionadas à área de agricultura de precisão para a produção agropecuária a serem utilizadas em:

- Empresas de produção agropecuária;
- Indústrias de tratores, máquinas e implementos agrícolas;
- Indústrias de insumos agrícolas;
- Fabricantes de softwares e equipamentos de agricultura de precisão;
- Revendedores de tratores, máquinas e implementos agrícolas;
- Revendedores de insumos agrícolas;
- Usinas e destilarias de álcool e açúcar;
- Prestadores de serviços especializados em agricultura de precisão.

3.7 Pontos Fortes do Programa

O programa está tendo uma aceitação muito boa entre os profissionais que exercem atividade em agricultura de precisão e também entre empresas do agronegócio que tem liberado seus colaboradores para participarem do mestrado profissional. Esta é uma área de constante inovação tecnológica e que necessita de continuada atualização dos profissionais. A inserção do mestrado profissional no mercado de trabalho pode ser comprovada pelo perfil dos discentes do curso, os quais são oriundos de diferentes empresas do setor de prestação de serviço técnico em agricultura de precisão (já alcançamos 80% das empresas existentes no Estado). Além de profissionais autônomos que atuam em propriedades familiares.

Os discentes estão distribuídos segundo as áreas de atuação da seguinte forma: 55,4% atuam na área de prestação de serviços, 16% na área de desenvolvimento e venda de máquinas agrícolas, 16,1% trabalha em instituições públicas (Colégios, Institutos Federais, entre outros), 3,6% em empresas públicas (Secretaria de Agricultura de Prefeituras, Emater, Embrapa, entre outras) e outros 8,9% em Cooperativas agrícola. Ainda, 75% alunos do curso exercem suas atividades profissionais fora de Santa Maria, provenientes dos municípios de Bagé, Cachoeira do Sul, Carazinho, Chapada, Cruz Alta, Dom Pedrito, Garruchos, Guarapuava (PR), Hohehau (Paraguai), Horizontina, Itaqui, Não-me-toque, Palmeira das Missões, Panambi, Pejuçara, Porto Alegre, Restinga Seca, Santiago, Santo Ângelo, São Luiz Gonzaga, Silveira Martins, Vista Gaúcha, São Gabriel, sendo que a quilometragem média que os mesmos tem que percorrer para assistir as aulas presenciais é de aproximadamente 250 km. Estes números comprovam que o programa tem uma grande abrangência no Estado e que os resultados positivos da formação de recursos humanos qualificados deverá trazer um retorno muito positivo em termos de implantação da agricultura de precisão no Rio Grande do Sul.

Contam-se representadas no Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão 21 entidades públicas e privadas sendo elas: Agrocampear, Agropecuária Nemitz, Agropecuária Pessegueiro - APES, AgropLan Serviços Agrícolas, Agrotec Planejamento Agrícola, Analys Agricultura de Precisão, Base Precisão na Agricultura, Campear Agricultura, Centrosul Máquinas Agrícolas Ltda, CHG Rotomoldados Ltda, Coopatrigo, Cotrijal, Drakkar Solos Consultoria, E. E. Técnica N. Sra. Da Conceição, Embrapa, GT Assessoria Rural, John Deere, Mosaic Fertilizantes do Brasil, Monsanto, Prefeitura Municipal, SENAR, SEST SENAT, Stara S. A., Sustentap Consultoría de Precisión, TimacAgro - Cia Matas Sóles, Tropical Melhoramento e Genética Ltda, Verdes Vales Concessionária John Deere.

Pelo exposto aqui, conclui-se que o mestrado profissional está atingindo o público alvo a que se propôs trabalhar quando da sua criação, inclusive com a participação de profissionais oriundos do Paraná e Paraguai.

O comprometimento do corpo docente e discente tem possibilitado que as disciplinas tenham sido muito proveitosa. A avaliação das disciplinas por parte dos pós-graduandos tem sido na maioria positiva. Existe um controle de avaliação das disciplinas que faz com que ajustes sejam implantados para alcançar um nível elevado de satisfação com o curso.

Existe uma forte interação com a indústria de máquinas agrícolas e a de instrumentação. Este fato permitiu que aulas práticas tenham sido realizadas dentro da indústria, com instrutores da própria fábrica, como foi o caso das aulas sobre sensores de rendimento e distribuidores da STARA. Todos os estudantes foram deslocados para a fábrica (Não-Me-Toque, RS) onde permaneceram na sexta-feira e no sábado com aulas práticas e teóricas ministradas por técnicos da indústria, combinado com discussões técnicas. No segundo ano foi repetida a atividade de ensino na indústria, no qual a disciplina de Eletrônica Embarcada foi integralmente ministrada na STARA. Também foi feita uma viagem técnica na qual foram ministradas aulas teóricas e práticas na John Deere. A avaliação deste evento foi muito positiva e deve-se ampliar à visita técnica nos mesmos moldes a Massey Ferguson (Canoas-RS). Ainda, foram feitos contatos com a New Holland e com a Falker, visando possibilitar a constante atualização dos pós-graduandos com a indústria.

Está sendo feito um esforço para que os prazos de defesa de dissertação sejam mantidos o que supõe uma dificuldade maior já que a grande maioria dos mestrandos são profissionais que continuam a executar suas atividades profissionais enquanto cursam o mestrado.

3.7.1 Produção Intelectual e Profissional Destacada

No ano de 2011 os docentes permanentes do PPGAP produziram 9,6 publicações equivalentes a A1 (sendo 0 em extrato A1, 1 em A2, 6 em B1, 3 em B2, 3 em B3, 0 em B4 e 17 produções no extrato B5). Em 2012 a produção foi semelhante a anterior com 10,5 publicações equivalentes a A1 (sendo 0 em extrato A1, 1 em A2, 10 em B1, 1 em B2, 0 em B3, 0 em B4 e 21 produções no extrato B5). Em 2013 os professores do PPGAP produziram 17,85 publicações equivalentes a A1 (1 em extrato A1, 3 em A2, 14 em B1, 4 em B2, 1 em B3, 0 em B4 e 19 produções no extrato B5). Em 2014 os professores do Curso produziram 15,2 publicações equivalentes a A1. Embora tenha havido uma ligeira redução em relação ao ano anterior, no entanto houve uma forte migração de publicações do extrato B5 para o B4. Esta melhora reflete a preocupação com a qualidade da revista em que os artigos são publicados. Em 2014 teve-se 1 em extrato A1, 1 em A2, 10 em B1, 6 em B2, 0 em B3, 7 em B4 e 15 produções no extrato B5. Considerando o número de professores permanentes tem-se 1,689 publicações equivalentes a A1 por Docente Permanente (DP), julgando-se assim, que a produção qualificada em periódicos encontra-se em nível alto se comparado a outros mestrados profissionais. A produção técnica aumentou de

forma exponencial neste último ano de análise. Em números absolutos tem-se 22,85, 50,40, 41,80 e 106,7 produções técnicas equivalentes a A1 para os anos 2011, 2012, 2013 e 2014, respectivamente. Isso significa 2,077 produções equivalentes a A1 por DP em 2011, 4,582 produções por DP em 2012, 4,644 em 2013 e 11,856 em 2014, ou seja, um aumento de 120,6% entre 2011 e 2012, a manutenção dos valores entre 2012 e 2013 (1,37% de incremento) e um expressivo incremento de 155,26% do ano de 2014 em relação ao de 2014. Se compararmos o primeiro ano de funcionamento do curso e o ano de 2014 houve um incremento de 470,7% nas produções técnicas dos docentes do curso. Este tipo de produção é que alcança o maior número de empresários agrícolas, consultores e técnicos. Também é mais receptiva ao tipo de produção do mestrado profissional.

A produção científica do programa em 2015 foi de 24 artigos publicados distribuídos da seguinte forma: 2 A1, 1 A2, 9 B1, 1 B2, 4 B3, 1 B4 e 6 B5. Observa-se uma adequada distribuição entre os diferentes qualis das revistas, havendo pelo menos uma publicação em cada um dos estratos qualis Capes. Houve um esforço do programa em estimular a produção nos extratos A1 e A2, que em 2015 alcançou 12,5% da produção total. Ainda, a produção de B1 alcançou 37,5% valor considerado muito bom. Somados estes três estratos qualis Capes (avaliação qualitativa) em 2015 representaram 50% da produção total, valor considerado como muito bom. A produção equivalente A1 em 2015 foi de 1.105 sendo um pouco inferior a obtida em 2014 e 2013. Este fato é explicado pela sazonalidade da produção, porém a média do último triênio foi de 1.59 valor este considerado como muito bom.

A produção técnica também foi destacada com expressiva produção de 3 livros, 4 organizações de eventos, 1 patente, 6 entrevistas de rádio/TV e 4 aplicativos para smartphone. A produção técnica é muito relevante para o cumprimento do planejamento estratégico do mestrado profissional. A área de agricultura de precisão ainda se encontra em desenvolvimento, apresentando carência de material didático para ser usado em cursos técnicos e no ensino superior. Da mesma forma, a geração de produtos técnicos como patente e aplicativos é relevante para a consolidação da agricultura de precisão. Em 2015 a produção técnica qualificada alcançou 6.18, com média no último triênio de 7.56. O valor é considerado elevado e confirma o perfil tecnológico do programa. A meta é manter elevada a produção técnica e manter a produção científica em um nível satisfatório. Em 2015 somadas a produção qualificada científica com a técnica o valor alcançado foi de 7,28/docente, valor este que foi o segundo maior de toda a história do programa.

Durante o período do relatório foram gerados vários aplicativos para a agricultura de precisão pela equipe coordenada pelo Prof. Giotto. Além disto, foi feito um convênio com o MAPA para treinamento e formação de recursos humanos. Acredita-se que o desenvolvimento de programas computacionais para agricultura de precisão pelas Universidades brasileiras é estratégico para o

sucesso da implantação da agricultura de precisão no país. Neste sentido, a UFSM e o mestrado profissional têm uma liderança nacional e tem contribuído para a melhoria do ensino de graduação e pós-graduação na área específica.

Os aplicativos gratuitos e disponíveis para smartphones com sistema operacional Android criados pela equipe do professor Enio Giotto atingiram expressivos 100.000 downloads em 2016. Este número ilustra que o programa computacional Campeiro é atualmente o principal programa de Agricultura de Precisão no Brasil.

3.8 Avaliação da proposta pela CAPES

Quando da implantação do curso a CAPES o Comitê da Área de Avaliação “Ciências Agrárias I” atribuiu conceito 4 e emitiu o seguinte parecer:

A proposta do programa é coerente com o perfil do profissional a ser formado.

As linhas e projetos de pesquisa apresentam coerência e consistência com a Área de Concentração.

Há equilíbrio no número de Linhas de Pesquisa na Área de Concentração, bem como entre o número de projetos e as linhas de pesquisa.

As linhas de pesquisa são suficientes para atender aos objetivos de formação. A área de concentração e respectivas linhas são atuais.

O conjunto de disciplinas apresenta ementas atuais, com bibliografia atualizada e relevante. O conteúdo atende de forma adequada à área de concentração e linhas de pesquisa, em consonância com a especialidade do corpo docente e com o perfil do profissional a ser formado.

A estrutura curricular é abrangente e possui disciplinas em número suficiente para atender às respectivas áreas de concentração. As disciplinas estão de acordo com a especialidade dos docentes e perfil do profissional a ser formado.

Os mecanismos de interação com outras instituições relatados apresentam abrangência e consistência coerentes com os objetivos do programa.

3.8 Área de Concentração e Linhas de Pesquisa

3.8.1 Tecnologia em Agricultura de Precisão

A área de concentração tecnologia em agricultura de precisão envolve uma gama variada de áreas de conhecimento, exigindo a participação de equipes multidisciplinares. O aporte de novas tecnologias como a tecnologia de satélites (geodésicos e imageadores), assim como, a intensa utilização de

modernas máquinas e insumos de última geração, a utilização de sistemas de informações geográficas para o apoio ao planejamento das atividades agrícolas e avaliação dos impactos ambientais das mesmas, trouxe a necessidade de requalificar os profissionais das ciências agrárias, agregando novos conhecimentos e problemas a serem resolvidos.

3.8.2 Linhas de Pesquisa

3.8.2.1 Geotecnologias aplicadas à agricultura de precisão

Com o desenvolvimento das geotecnologias, tais como os sistemas de informações Geográficas, do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Posicionamento Global (GPS) levaram recentemente o setor agropecuário a pensar não mais numa parcela agrícola como uma unidade de tratamento homogêneo, mas sim em um sistema de produção heterogêneo que tem variação espacial, surgindo a agricultura de precisão. Desta forma, diversas empresas do setor agropecuário começaram a investir em obtenção de registros e armazenamento de dados das atividades agrícolas, tais como, a preparação do solo, a semeadura, a colheita, entre outros. Dentro deste contexto de modernização tecnológica na agricultura, esta linha de pesquisa trata do desenvolvimento de métodos e procedimentos para a utilização das geotecnologias, tanto na construção de bases de dados espaciais, como na representação e análise de informações espaciais, incluindo o controle de qualidade. Abrange, portanto, a utilização das geotecnologias pela agricultura de precisão com o objetivo de obter informações de objetos e fenômenos reais que possam contribuir com os processos de gestão agrícola.

3.8.2.2 Manejo de sítio específico de solo e planta

Esta linha de pesquisa compreenderá: Investigar a eficiência da realocação de insumos baseada na variabilidade espacial de atributos do solo, investigar a eficiência da realocação de insumos com base na variabilidade espacial do rendimento, avaliar a eficiência da taxa variada de população de plantas e da taxa variada de fertilizantes, avaliar a eficiência da descompactação localizada do solo e associar mapas temáticos de atributos de solo e planta com componentes topográficos (altitude, declividade e fluxos preferenciais de água).

3.8.2.3 Máquinas agrícolas desenvolvidas para agricultura de precisão

Objetiva o estudo de sistemas mecanizados desenvolvidos para aplicação em agricultura de precisão e a busca pela melhor utilização das

máquinas existentes no mercado, com o intuito de melhor gerenciamento da atividade agrícola e integração com o meio ambiente e usuários.

3.9 Dissertações Defendidas até o momento

Até o momento o curso formou 48 profissionais com dissertações voltadas a área de Agricultura de Precisão (Quadro 1).

Quadro 1 Dissertações defendidas até novembro de 2016.

Desenvolvimento de Aplicativos CR Campeiro Mobile - Caso de Teste: Sistema Operacional Android	
Autor: Gustavo Heydt Réquia	Orientador: Enio Giotto
Variabilidade Espacial do Tifton 85 em Função dos Atributos Químicos e Físicos do Solo	
Autor: Diogo Rafael Bier	Orientador: Claudir José Basso
Técnicas de Agricultura de Precisão para Definição de Zonas de Manejo do Solo	
Autor: Fábio Evandro Grub Hauschild	Orientador: Jackson Ernani Fiorin
Diagnóstico da Fertilidade do Solo de Áreas em Implantação de Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul	
Autor: Rodrigo Franco Dias	Orientador: Jackson Ernani Fiorin
Componentes de Rendimento da Cultura da Soja em Função da Aplicação de Nitrogênio no Florescimento	
Autor: Leonardo Possebon Perusso	Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado
Análise Comparativa de Sistemas de Direcionamento na Operação de Pulverização Terrestre	
Autor: Fábio Fernandes	Orientador: Catize Brandelero
Agricultura de Precisão como Ferramenta de Gestão Estratégica	
Autor: Ronie Elton Gabbi	Orientador: Elódio Sebem
Avaliação da Qualidade da Distribuição de Calcário por Distribuidores Centrífugo e Gravimétrico	
Autor: Rafael Schmidt Magni	Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado
Uso de Sensor de Vegetação para Avaliação da Nutrição Nitrogenada na Cultura do Algodoeiro e Sensor de Solo no Estudo da Condutividade Elétrica na Cultura do Milho	
Autor: Fabiano Mauricio Tabaldi	Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado
Técnicas de Agricultura de Precisão Aplicadas ao Manejo da Adubação na Rotação Arroz Irrigado com Soja	
Autor: Evandro Ferigolo Venturini	Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado
Variabilidade Espacial da Resistência do Solo à Penetração em um Campo de Futebol	
Autor: Leonardo Toscani Acosta	Orientador: Vanderlei Rodrigues da Silva
Análise Comparativa entre Amostragem de Solo Convencional e Amostragem de Solo para fins de Agricultura de Precisão	
Autor: Marcel Borges Potter	Orientador: Enio Giotto
Geoestatística Aplicada ao Manejo Florestal Experimental em Floresta Ombrófila Mista	
Autor: Lúcio de Paula Amaral	Orientador: Elódio Sebem

continua...

Quadro 1 Dissertações defendidas até novembro de 2016.

continuação

Atributos Químicos dos Solos dos Departamentos de Misiones, Itapúa e Alto Paraná - Paraguai	
Autor: Roberto Willian John	Orientador: Elódio Sebem
Definição de Zonas de Manejo em Lavouras Agrícolas a partir de Mapas de Produtividade: Estudo de Caso	
Autor: Marcio Adair Barato	Orientador: Enio Giotto
Influência da Densidade populacional na Fenologia e na Produtividade da Cultura do Milho	
Autor: Juan Paulo Padrilha de Oliveira	Orientador: Catize Brandelero
Potencialidades do Uso de um Sistema WEBIGS na Pecuária de Precisão: Estudo ee Caso Embrapa Pecuária Sul	
Autor: Danilo Serra da Rocha	Orientador: Rudiney Soares Pereira
Estudo das Tensões Residuais do Ferro Fundido em um Componente Pantográfico de Semeadura para Agricultura de Precisão	
Autor: Sirnei Cesar Kach	Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado
Avaliação da Influência do Perfil Químico do Solo na Produtividade da Soja (Glycine Max) através de Mapas de Colheita	
Autor: Jonas Lorençon	Orientador: Luciano Zucuni Pes
Estratégias de Aplicação e Fontes de Fertilizantes na Cultura da Soja	
Autor: Pedro Toigo Vogel	Orientador: Jackson Ernani Fiorin
Análise da Viabilidade Econômica da Semeadura da Cultura de Soja Utilizando Taxa Variável de Fertilizante na Linha	
Autor: Guilherme Jost Beras	Orientador: Alexandre Russini
Estratégias de Agricultura de Precisão para Definição de Zonas de Manejo em Sistemas de Integração Lavoura Pecuária	
Autor: Marcelo Pilon	Orientador: Antônio Luis Santi
Utilização do Sistema John Deere - Surface Water Pro e CR - Campeiro 7 para Obtenção de Dados Altimétricos para o Manejo do Arroz Irrigado (Oryza Sativa)	
Autor: Marcelino Andre Brutti	Orientador: Antônio Luis Santi
Mapeamento da Compactação em Área Irrigada de Grãos e sua Correlação com Condutividade Elétrica do Solo e Produtividade de Soja	
Autor: Charles Luis Schons	Orientador: Claire Delfini Viana Cardoso
Viabilidade Econômica da Implantação de Agricultura de Precisão na Cultura do Arroz Irrigado em Cachoeira do Sul/RS	
Autor: Lucas Bauer dos Santos	Orientador: Elódio Sebem
Verificação de Tipos de Dosadores de Sementes de Milho e Soja no Norte do Paraná	
Autor: Cassiano Ricardo Schmalz	Orientador: Ivan F. Dressler da Costa
Variabilidade Espacial dos Atributos do Solo em um Gramado de Futebol	
Autor: Andervan Amaral	Orientador: Antônio Luis Santi
Produtividade de Culturas de Grãos Obtida pela Aplicação Isolada e Combinada de Condicionadores de Solo	
Autor: Robinson Barboza	Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado

continua...

Quadro 1 Dissertações defendidas até novembro de 2016.

continuação

Rastreabilidade Bovina Utilizando Identificação por Radiofrequência em Pecuária de Precisão – Modelo Teórico	
Autor: José Airton de Souza Bourne Junior	Orientador: Enio Giotto
Viabilidade de Utilização de Técnicas de Agricultura de Precisão na Lavoura Orizícola	
Autor: Leonardo Cezar Mainardi	Orientador: Elódio Sebem
Adubação da Cultura da Soja Baseada nos Teores Mínimos de Fósforo e Potássio no Solo	
Autor: Junior Henrique Milanesi	Orientador: Luciano Zucuni Pes
Semeadura de Precisão e Utilização de Tráfego Controlado em Máquinas Agrícolas: Estudo de Caso	
Autor: Cláudir Marcelo Goehl	Orientador: Enio Giotto
Fertilidade de Solo e Viabilidade Técnica-Econômica da Agricultura de Precisão na Região das Missões – RS	
Autor: Flávio André Schadeck	Orientador: Claire Delfini Viana Cardoso
Delineamento de Zonas Potenciais para Manejo Diferenciado em Nível de Talão a Partir de Dados de Colheita e de Imagens de Satélite	
Autor: Kelly Taline Veiverberg	Orientador: Elódio Sebem
Variabilidade Espacial dos Atributos Químicos do Solo, Índices de Vegetação e Sua Relação com Atributos Químicos do Mosto da Uva	
Autor: Odair Dal'Agnol	Orientador: Elódio Sebem
Produtividade de Arroz Irrigado em Função do Número de Operações Mecanizadas de Nivelamento de Solo	
Autor: Cleiton José Ramão	Orientador: Alexandre Russini
Utilização de Ferramentas de Agricultura de Precisão na Definição de Zonas de Manejo	
Autor: Leonardo Burin Cocco	Orientador: Jackson Ernani Fiorin
Estimativa da Produtividade de Milho (<i>Zea Mays L.</i>) Através de Imagens Multiespectrais por Veículo Aéreo Não Tripulado.	
Autor: Pablo Fernandes	Orientador: Catize Brandelero
Malhas de Amostragem Rectangular e Hexagonal na Geração de Mapas para a Agricultura de Precisão.	
Autor: Leonice Schio	Orientador: Claire Delfini Viana Cardoso
Aplicação de Técnicas de Agricultura de Precisão em Áreas do Cultivo do Fumo na Agricultura Familiar	
Autor: Leonice Raquel Vidal	Orientador: Claire Delfini Viana Cardoso
Inclusão da Disciplina de Gestão em Agricultura de Precisão no Curso Profissionalizante Formação Técnico em Agropecuária	
Autor: Carlos Alexandre Streck	Orientador: Clarire Delfini Viana Cardoso
Avaliação do Aplicativo de Tecnologia Móvel Android C7 Leite: Zootecnia de Precisão	
Autor: Sidnei Dal'Agnol	Orientador: Enio Giotto
Desenvolvimento de Base Tecnológica: Gestão e Georreferenciamento da Cadeia Produtiva da Erva Mate no Estado do Rio Grande do Sul	
Autor: Fábio Soares Pires	Orientador: Enio Giotto

continua...

Quadro 1 Dissertações defendidas até novembro de 2016.

continuação

Desenvolvimento e Utilização do Aplicativo C7 Lavouras para a Gestão Agrícola	
Autor: Danner Rambo Berguemaier	Orientador: Enio Giotto
Produtividade de Soja em Diferentes Populações de Plantas e Sítios Específicos de Manejo em Semeadura Após a Época Indicada	
Autor: Francisco Girardi	Orientador: Luciano Zucuni Pes
Qualidade da Aplicação de Calcário Influenciada pela Taxa Variada Plena e Simplificada	
Autor: Leonardo Kerber	Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado
Comparação Técnico-Econômica entre os Sistemas de Irrigação Superficial e Subsuperficial na Lavoura de Arroz	
Autor: Edison dos Santos Corrêa Junior	Orientador: Alexandre Russini
Adoção da Agricultura de Precisão na Amazônia: Estudo de Caso na Região Cone Sul do Estado de Rondônia	
Autor: Jessé Alves Batista	Orientador: Elódio Sebem

3.10 Considerações Finais

O Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão vem atendendo aos objetivos propostos quando de sua criação e tem devolvido ao mercado uma média de 12 mestres ao ano.

Estes profissionais são altamente qualificados para atender as demandas da área de concentração tecnologias em agricultura de precisão e auxiliar no desenvolvimento da agricultura de precisão no Brasil.

Fonte de Consulta

BRASIL. Plataforma Sucupira. Disponível em <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/>>. Acesso em 11/11/2016.

CAPÍTULO 4

Amostragem de solo na agricultura de precisão

Maurício Roberto Cherubin¹, Antônio Luis Santi², Osmar Henrique de Castro Pias³, Mateus Tonini Eitelwein⁴, Claudir José Basso², Lisandra Pinto Della Flora⁵, Júnior Melo Damian³

Resumo

A premissa básica da agricultura de precisão (AP) é o manejo da variabilidade espaço-temporal dos fatores de produção, buscando a maximização do potencial produtivo das culturas, associado à racionalização do uso dos insumos. A amostragem georreferenciada de solo é a principal ferramenta de AP utilizada em escala comercial no Brasil. No entanto, ainda persistem muitas dúvidas em relação os procedimentos mais adequados para fazer a amostragem de solo. Sendo assim, neste capítulo, serão apresentados e discutidos de modo detalhado os principais aspectos relacionados às etapas de elaboração e definição da dimensão da malha, representação dos pontos amostrais e os principais tipos de amostradores de solo utilizados. Além disso, são apontadas as principais perspectivas futuras sobre o assunto no RS e Brasil, destacando os direcionamento e esforços de pesquisa, com relação ao uso de zonas de manejo para orientar amostragens dirigidas, e o uso de sensores móveis para a detecção em tempo real de atributos químicos do solo, em uma elevada resolução espacial com custos acessíveis. No final de cada seção, são apresentadas as principais potencialidades e limitações de cada metodologia de amostragem de solo (malhas de amostragem, zonas de manejo e sensores de solo).

Palavras-chave: atributos químicos do solo, malhas amostrais, número de subamostras, variabilidade espacial

¹ Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ-USP), Av. Pádua Dias, 11 - CP 9, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: cherubin@usp.br

² Professor do Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, 98400-000 Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: santi_pratica@yahoo.com.br; claudirbasso@gmail.com

³ Mestrando em Agronomia Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, 98400-000 Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: henriquepias@yahoo.com.br; juniormelodamian@hotmail.com

⁴ Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas. USP-ESALQ. Av. Pádua Dias, 11 - CP 9, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: mateus_eitelwein@outlook.com

⁵ Professora do Instituto Federal Faropilha, Campus de Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, 98400-000 Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: lisandra_cafw@yahoo.com.br.

Soil sampling for precision agriculture

Abstract

The assumption basic of precision agriculture (PA) is the management of spatial and temporal variability of production factors, aiming to improve crop yield associated with efficient use of production inputs. Georeferenced soil sampling is the primary tool of PA that has been commercially used in Brazil. Therefore, in this chapter we showed and discussed the principal steps for elaboration and sizing of a soil sampling grid and the types of soil samplers. In addition, we outlined future perspectives for soil sampling in RS and Brazil, highlighting the research efforts for making feasible the using of site-specific management zones for guiding directed soil sampling; and recent researches involving mobile soil sensors for detecting soil chemical attributes on real-time with high spatial resolution and low costs. In the end of each section, we summarized the main potentialities and limitations of each soil sampling methodology (sampling grid, management zones and soil sensors).

Keywords: soil chemical attributes, sampling grids, number of subsamples, spatial variability

4.1 Introdução

Sistemas de produção mais eficientes têm como premissa a maximização do potencial produtivo das culturas, associado à racionalização do uso dos insumos. A racionalização do uso de insumos, especialmente aqueles adicionados ao solo, essencialmente está condicionada ao conhecimento dos atributos químicos, físicos e biológicos destes solos. Neste contexto, a amostragem de solo é uma das principais práticas agronômicas que possibilitam identificar as potencialidades e limitações do solo, bem como, orientar a tomada de decisão frente ao uso das diferentes estratégias manejo.

Historicamente a amostragem e análise de solo tem sido realizada utilizando protocolos que prevêem a coleta de uma amostra composta por área (CFQS-RS/SC, 2004). Para tanto, inicialmente deve-se fazer a divisão da propriedade em áreas consideradas “homogêneas”, utilizando critérios como: uso de solo (culturas anuais, pastagem, fruticultura, reflorestamento), topografia, e práticas de manejo (ex. uso de calcário, aplicação de resíduos orgânicos, etc). Após definir as áreas, recomenda-se coletar aproximadamente de 15-20 subamostras, para compor a amostra composta, a qual é encaminhada ao laboratório para análise. Para que as amostras sejam representativas, indica-se que essas sejam coletadas em caminhamento “zigue-zague” ao longo de toda a área. A partir dos resultados das análises laboratoriais, tem-se uma caracterização dos níveis médios dos atributos do solo, a qual irá orientar decisões de manejo do agricultor e/ou técnicos.

É indiscutível que a amostragem de solo foi um dos maiores marcos para a agricultura, e permitiu uma “revolução” no uso de insumos, pois possibilitou

levar em consideração a disponibilidade de nutrientes no solo e as necessidades das plantas. Entretanto, com a intensificação e modernização da agricultura que tem ocorrido nas últimas duas décadas, em busca da maximização da produção, com redução de custos e impactos ambientais, tem transformado o modo de “fazer” agricultura no Rio Grande do Sul e no Brasil. Um dos principais agentes dessa transformação foi à agricultura de precisão (AP), introduzida no Brasil no final dos anos 90 - início dos anos 2000. Enquanto, na região Sudeste a introdução AP deu-se a partir da investigação da variabilidade espacial da produtividade das lavouras, na região Sul, a AP iniciou com o reconhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo (fertilidade) através da amostragem georreferenciada de solo. Diante disso, a amostragem georreferenciada de solo tornou-se a primeira “ferramenta” a ser utilizada pelos usuários de AP (Figura 1) e por consequência a ferramenta de AP mais popularizada em escala de campo. A rápida expansão da AP por meio da amostragem georreferenciada de solo no RS foi decorrente da atuação das Cooperativas, através do projeto APCOOP e das empresas de consultorias, alicerçadas no conhecimento gerado e difundido pelas pesquisas desenvolvidas nas Universidades, no qual se destaca o papel fundamental da USFM nesse processo.

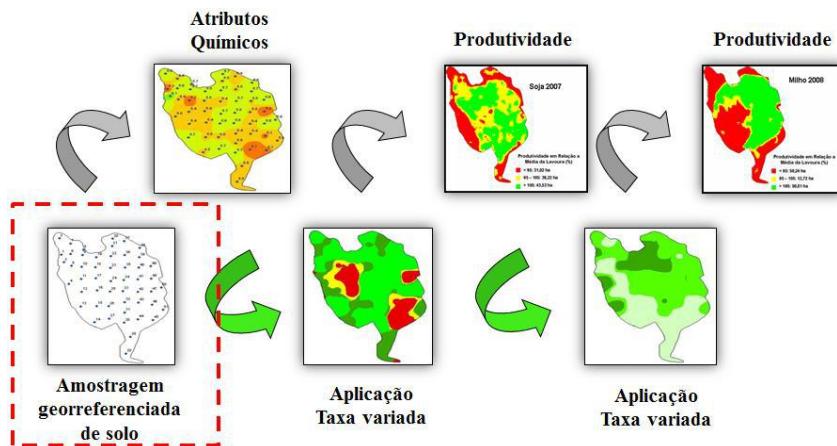


Figura 1 Amostragem georreferenciada de solo, como primeira etapa da agricultura de precisão.

Apesar de amostragem georreferenciada de solo ser a principal tecnologia utilizada da agricultura de precisão, conforme será discutido nesse capítulo nos itens subsequentes, observa-se que o conhecimento sobre as suas técnicas e o desenvolvimento de um protocolo de amostragem georreferenciada de solo ainda é incipiente, persistindo muitas dúvidas a respeito dos procedimentos mais adequados para realizar esse tipo de amostragem. São

vários os fatores que podem resultar em erros de amostragem, tais como: malha amostral muito grande, reduzido número de subamostras, esquema de coleta de subamostras inadequado, erros de laboratório, entre outros. Todos esses fatores quando somados podem resultar em dados não representativos da real variabilidade do solo.

Sendo o ponto de partida das ações de AP na propriedade, a acurácia e eficácia da amostragem de solo tem implicações diretas nas etapas subsequentes, tais como a elaboração dos mapas temáticos e o manejo da fertilidade em sítios específicos. Dessa forma, isso reforça o papel fundamental da amostragem de solo no sucesso do plano de ações de AP elaborado para um determinado sistema de produção.

4.2 Amostragem georreferenciada de solo

A amostragem georreferenciada de solo pode ser realizada basicamente de duas formas, sistemática ou aleatória. Na amostragem sistemática segue-se um padrão de coleta predefinido, onde os pontos de amostragem são regularmente dispostos sobre a área, em outras palavras, as amostras são coletadas em espaçamentos equidistantes. Para orientar a disposição sistemática dos pontos amostrais, normalmente se utiliza malhas amostrais regulares (também conhecidas como grades ou *grids* amostrais). Este procedimento amostral é utilizado na grande maioria das áreas manejadas com AP, visto que permite melhor planejamento do número de amostras a serem coletadas, garante a uniformização da disposição espacial dos pontos amostrais no campo e facilita as etapas de geração dos mapas temáticos.

Em relação à amostragem aleatória, os pontos amostrais são distribuídos na área sem qualquer sistematização, de modo que não tenham equidistância entre si. Em alguns casos esse procedimento de amostragem é preferido pelos usuários devido a maior facilidade de operacionalização da coleta das amostras de solo no campo, uma vez que não tem a necessidade de localizar o ponto georreferenciado definido pela malha amostral. Além disso, existem situações onde é desejado obter uma maior resolução espacial em determinadas subáreas da lavoura, desta forma, aumenta-se o número de pontos amostrais nestes locais em comparação com o restante da área. Por outro lado, esse método de amostragem implica em maiores dificuldades na geração dos mapas temáticos, especialmente no processo de interpolação dos dados usando procedimentos geoestatísticos. Além disso, quando a disposição aleatória dos pontos amostrais for executada inadequadamente, corre-se o risco de que algumas subáreas apresentem poucos pontos, aumentando a probabilidade de erros no processo de interpolação dos dados e geração dos mapas temáticos. Sendo assim, a coleta de solo de forma aleatória exige um elevado conhecimento prévio dos atributos da área, o qual pode ser obtido através de amostragem sistemática em alta resolução (malha amostral densa).

No Brasil, devido ao desconhecimento detalhado da variabilidade dos atributos do solo, a amostragem sistemática com malhas regulares é a forma mais amplamente difundida e utilizada nas áreas manejadas com AP. Sendo assim, neste capítulo, serão apresentados e discutidos de modo detalhado os principais aspectos relacionados a apenas este tipo procedimento amostral, abordando as etapas de elaboração e definição da dimensão da malha, representação dos pontos amostrais, tipos de amostradores de solo utilizados e as suas principais potencialidades e limitações.

4.2.1 Amostragem sistemática utilizando malhas amostrais

4.2.1.1 Elaboração da malha amostral

O primeiro passo para a elaboração da malha amostral (*grid*) (Figura 2) consiste no georreferenciamento da área que será amostrada. A demarcação do perímetro da área pode ser realizada de diferentes maneiras, sendo as mais usuais, através do caminhamento ao longo dos limites da área (contorno) utilizando um receptor GNSS de navegação, ou demarcando o perímetro da área utilizando imagens de satélite com auxílio de softwares, tais como Google Earth®. Em seguida, o arquivo com as coordenadas geográficas da área deve ser transferido do receptor para um computador ou dispositivo (ex. *smartphones*), que contenham um *software* (*aplicativo*) para a geração da malha amostral, como o CR-Campeiro 7 desenvolvido pelo Setor de Geomática da USFM, definindo-se a forma e dimensão da malha amostral e procedendo-se a sobreposição da mesma sobre a área. No centro ou nas intersecções das quadrículas são plotados os pontos amostrais, completando a elaboração da malha amostral. Posteriormente o arquivo georreferenciado contendo o contorno da área e os pontos amostrais são transferidos novamente para o receptor. Finalmente, de posse deste arquivo no receptor o usuário poderá localizar na lavoura os pontos onde deverá ser realizado as coletas das amostras de solo.

4.2.2 Formas da malha amostral

A malha amostral pode ser elaborada utilizando diferentes formas geométricas, comumente sendo: triangular, quadricular, retangular e hexagonal (Figura 3).

A configuração de malha mais difundida é a quadricular, tanto pela maior simplicidade de geração nos diferentes softwares, quanto pela maior facilidade de orientação e localização dos pontos amostrais no campo. Malhas retangulares são preferidas quando a variabilidade espacial dos atributos do solo é mais pronunciada em uma direção (ex. Leste para Oeste). Isso pode ser observado em área com declive. Desta forma, utilizando malha retangular (Fig.

3B) os pontos amostrais poderiam ser dispostos mais próximos na direção transversal ao declive (maior variabilidade espacial) e ser dispostos mais espaçados na direção longitudinal ao declive (menor variabilidade espacial).

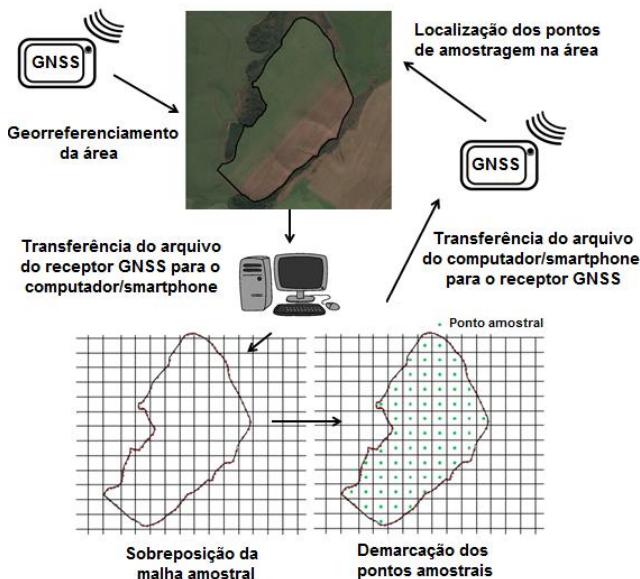


Figura 2 Etapas da elaboração da malha amostral para coleta de solo.

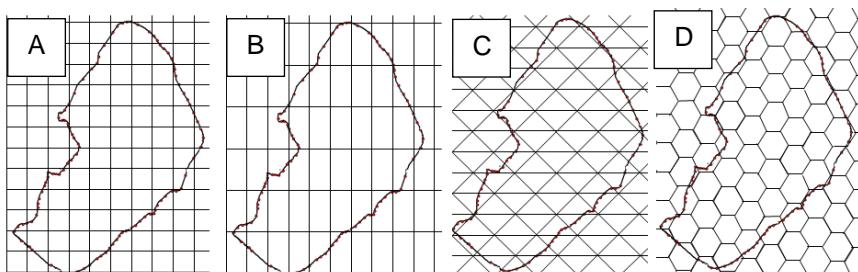


Figura 3 Diferentes formas geométricas de malha amostral, sendo a) quadrangular, b) retangular, c) triangular; e d) hexagonal.

Malhas amostrais triangulares e hexagonais (Fig. 3C e 3D) têm como principal vantagem o maior número de pontos amostrais equidistantes entre si, comparados com malhas quadrilaterais e retangulares. O maior número de pontos “vizinhos” equidistantes tem implicações positivas na etapa de modelagem do semivariograma e interpolação dos dados para a geração dos mapas temáticos. De acordo com Webster e Oliver (2007) a disposição dos

pontos amostrais nas intersecções de uma malha com triângulos equiláteros possibilita a máxima precisão e eficácia do mapeamento. Entretanto, embora tais configurações de malha sejam mais eficientes na prática, elas têm sido pouco utilizadas, devido a uma série de fatores, tais como: desconhecimento dos usuários a cerca dessas vantagens; maior dificuldade de orientação e localização dos pontos amostrais no campo; a maioria dos usuários da amostragem de solo georreferenciada não realizam análises geoestatísticas, procedendo-se a interpolação dos dados pelo inverso da distância ao quadrado.

4.2.3 Dimensão da malha amostral

A definição do tamanho da célula da malha amostral é um dos pontos mais críticos no processo amostragem de solo, devido à correlação direta entre o número de amostras coletadas e a qualidade dos resultados obtidos (Cherubin et al., 2014ab; 2015). Embora a amostragem georreferenciada venha sendo utilizada em larga escala na agricultura brasileira, não existe um consenso ou uma recomendação do tamanho de malha amostral que possa ser generalizada. Na região Sul do Brasil, as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (CQFS-RS/SC, 2004) indicam apenas que a amostragem de solo para a AP deve preconizar um número de amostras coletadas muito maior do que na amostragem tradicional. No entanto, os critérios para definir a dimensão das malhas ainda não foram estabelecidos.

A eficiência de um plano amostral de solo é dependente do conhecimento prévio da estrutura da variabilidade espaço-temporal que os atributos investigados apresentam no solo. Entretanto, essa variabilidade difere entre os atributos do solo, condicionada pelos fatores de formação do solo e práticas de uso e manejo adotadas. Portanto, as diferentes escalas de variação dos atributos do solo induzem grande dificuldade no estabelecimento de uma dimensão de malha amostral que detecte eficientemente a variabilidade espacial dos vários atributos do solo investigados.

As malhas amostrais que vêm sendo adotadas, na região Sul do Brasil, apresentam dimensões variando de 100 x 100 a 173 x 173 m. Em geral, a definição dessas dimensões de malhas, está alicerçada basicamente em razões de ordem econômicas e práticas, o que por vezes, negligencia os princípios geoestatísticos como a dependência espacial, afetando a acurácia dos resultados obtidos. Recentemente, Cherubin et al. (2014ab) estudaram a eficiência da amostragem georreferenciada de solo em mais de 6.000 ha de lavoura comerciais no RS, e concluíram que as malhas amostrais comumente adotadas pelos produtores rurais do estado [100 x 100 m (uma amostra a cada um ha), 142 x 142 m (uma amostra a cada dois ha) e 173 x 173 m (uma amostra a cada três ha)] não são eficientes para captar as diferentes escalas de variabilidade espacial dos atributos químicos do solo. Os autores sugerem evitar a utilização de malhas amostrais que condicionem a obtenção de poucas

amostras nas áreas e, consequentemente, a caracterização e manejo da variabilidade espacial dos atributos analisados com menor acurácia. Além disso, visando considerar a variabilidade expressa em curtas distâncias, indicam-se malhas amostrais menores (mais de uma amostra por ha) em relação às atualmente utilizadas.

As implicações técnicas do uso de diferentes dimensões de malhas amostrais para caracterizar a variabilidade dos teores de fósforo e potássio em um Latossolo em Boa Vista das Missões – RS, foram demonstradas por Cherubin et al. (2015). Neste estudo, os autores avaliaram sete dimensões de malhas amostrais (Figura 4), sendo 50 x 50 m (0,25 ha); 75 x 75 m (0,56 ha); 100 x 100 m (1,00 ha); 125 x 125 m (1,56 ha); 150 x 150 m (2,25 ha); 175 x 175 m (3,06 ha); e 200 x 200 m (4,00 ha).

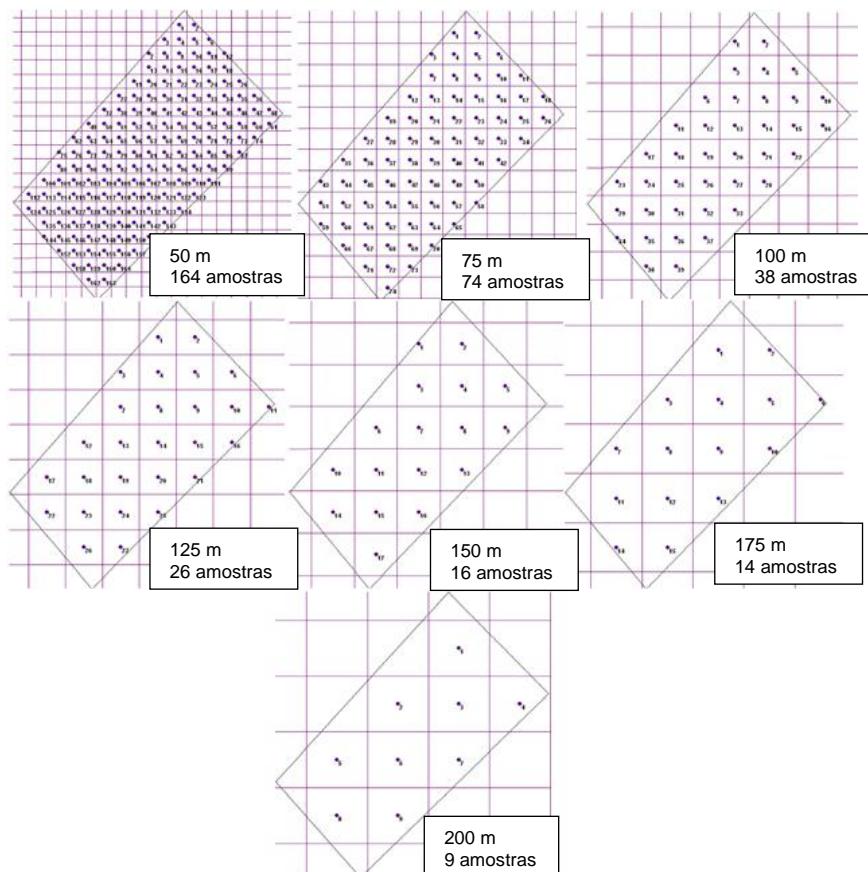


Figura 4 Diferentes dimensões da malha de amostragem e o número de amostras. Fonte: Cherubin et al. (2015).

Como pode ser visualizado, o gradativo aumento da dimensão da malha amostral promoveu significativa redução do número de amostras. Os resultados demonstraram que o aumento da malha amostral e consequente menor número de amostras coletadas reduziu a qualidade do mapeamento de fósforo e potássio. Na figura 5, verifica-se que o aumento da malha amostral reduziu o detalhamento das informações tornando os mapas de fósforo gradativamente mais generalistas (próximo aos valores médios), aumentando os níveis de erros do mapeamento. A generalização dos mapas tem sérias implicações de manejo, uma vez que sem o adequado detalhamento, o manejo da variabilidade espacial dos atributos investigados através de aplicações de fertilizantes e corretivos em sítio-específico torna-se menos eficiente.

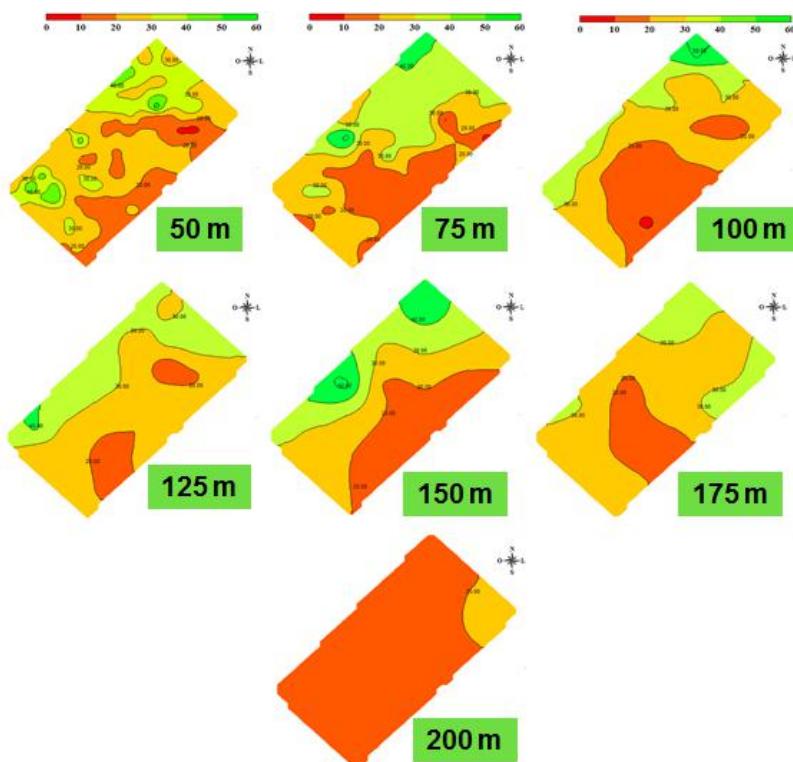


Figura 5 Mapeamento dos teores de fósforo disponível no solo utilizando diferentes dimensões de malhas amostrais. Fonte: Cherubin et al. (2015)

Conforme salientado anteriormente, não existe uma dimensão de malha amostral ótima que possa ser recomendada para todas as situações. Existem diversos fatores, intrínsecos e extrínsecos do solo, que afetam de maneira

diferente a variabilidade espacial dos atributos do solo, fazendo com que cada área tenha suas próprias especificidades e deva ser tratada de forma diferente. Entretanto, estudos já demonstraram com clareza que quanto mais adensado for a coleta das amostras mais acuradas serão as informações obtidas e consequentemente maior será a eficiência do manejo da fertilidade desse solo. Por melhor que seja os métodos de interpolação, estes jamais conseguirão prever os valores com acurácia equiparável aos valores obtidos por meio da amostragem no campo (Cherubin et al., 2014a).

Desta forma, cabe ao produtor rural e/ou técnico responsável decidir qual é a melhor estratégia de amostragem de solo nas áreas que gerencia. Para aumentar a eficiência das malhas amostrais sugere-se que seja realizado um mapeamento dos tipos de solo e do relevo da propriedade, procurando-se delimitar talhões menores, mas com uma maior homogeneidade de atributos que não dizem respeito a características químicas do solo, o que elevará o potencial do uso de malhas amostrais regulares. A decisão em utilizar uma malha maior ou menor deve levar em consideração fatores como: tamanho da área, investimentos financeiros disponíveis para a amostragem e análise do solo, situação da fertilidade da área, intensificação e tecnificação do sistema produtivo, nível de precisão desejado, equipamentos disponíveis para aplicação de fertilização, dentre outros.

4.2.4 Representação do ponto amostral

A amostra de solo deve ser composta por um número representativo de subamostras. No Sul do Brasil, as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (CQFS-RS/SC, 2004) sugerem a coleta de 5 a 8 subamostras em um raio de 3 metros em torno do ponto georreferenciado. Entretanto, ainda não existem critérios claros que definem qual seria o melhor protocolo para representar o ponto amostral. Tonello e Botoluzzi (2011) verificaram que receptores de GPS de navegação, os quais são largamente utilizados na AP, não apresentam a precisão adequada para coletar as subamostras dentro do raio de 3 metros, conforme recomendado. Além disso, coletar subamostras tão próximas umas das outras, pode aumentar os riscos de obter uma amostra pouco representativa. Na prática, diferentes protocolos de amostragem têm sido utilizados, variando de usuário para usuário. Apesar das variações, geralmente são coletadas entre 8-12 subamostras distribuídas em um raio de aproximadamente 10 m ao redor do ponto georreferenciado (Figura 6). De acordo com o CQFS RS/SC (2004) recomenda-se que em cultivos como soja e milho (espaçamento de 0,50 m) as subamostras sejam coletadas em uma proporção de aproximadamente uma subamostra na linha de cultivo e seis subamostras na entrelinha, evitando assim, subestimar ou superestimar os teores dos nutrientes no solo. No entanto, é importante salientar que as linhas de cultivo da penúltima cultura já são de difícil detecção a campo, principalmente

em amostragens automatizadas. Sendo assim, quando se utiliza adubação na linha de semeadura eleva-se a microvariabilidade do solo e consequentemente torna-se necessário aumentar o número de subamostras para representar uma amostra composta.

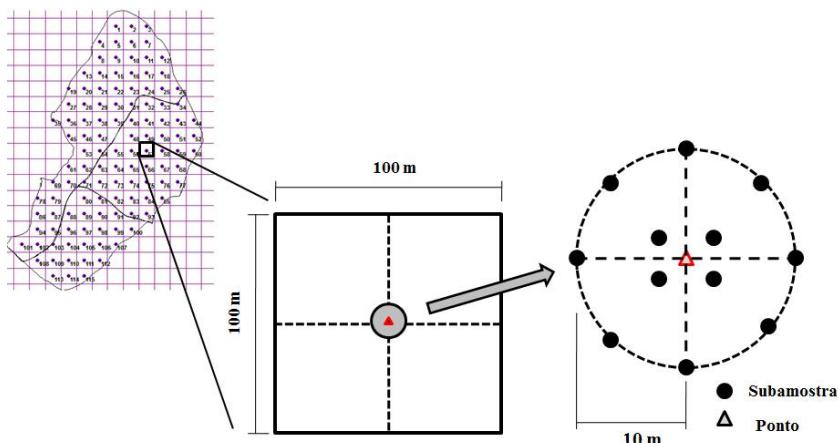


Figura 6. Representação do ponto de amostragem.

Observa-se que mesmo utilizando-se amostragens georreferenciadas de solo com malhas amostrais regulares continua-se utilizando a média dos atributos do solo em cada ponto amostral, dessa forma quanto menor for a malha amostral maior é a precisão das práticas de manejos subsequentes à amostragem de solo. Nesse sentido, observa-se que quanto maior for o número de subamostras realizadas melhor será a representatividade desse ponto amostral, pois se reduz o “peso” de cada subamostra no resultado médio final. Isso é importante, pois aumenta a eficiência na amostragem de solo e resulta em baixa variação de custos, já que estes são basicamente apenas operacionais, diferentemente do que se observa para a malha amostral que o seu adensamento repercute em aumento significativo dos custos, devido às análises laboratoriais.

O esquema de amostragem, ou seja, a forma de se representar o ponto amostral é importante quando se busca a realização de amostragens condizentes com a média do ponto amostral, é sabido que quanto mais disperso for a coleta das subamostras ao longo de toda a área do ponto amostral, melhor é a representação dos atributos deste solo. No entanto, observa-se que para isso se aumenta consideravelmente o tempo para a coleta das amostras a campo. Como na maioria dos casos as subamostras têm sido coletadas no perímetro de um círculo posicionado no centro de cada malha amostral. Recomenda-se que

o raio desse círculo tenha aproximadamente 10 m, possibilitando a melhor disposição das amostras simples ao longo da área do ponto amostral.

Portanto, pode-se inferir com relação à forma de se representar um ponto amostral que quanto maior for a malha amostral, maior deverá ser o número de subamostras coletadas, assim como, deve-se elevar proporcionalmente a área de coleta das subamostras dentro de cada ponto amostral.

4.2.5 Tipos de amostradores

Os amostradores utilizados na amostragem de solo tradicional podem ser utilizados na amostragem georreferenciada de solo nas áreas manejadas com AP. Entretanto, devido ao maior número de amostras coletadas nas áreas de AP comparada com a amostragem tradicional, tem-se preconizado o uso de amostradores operacionalmente mais práticos e ágeis, tal como o trado calador (Fig. 7A). Proprietários de grandes áreas, empresas de consultorias e Cooperativas têm investido na automatização da coleta das amostras. Existem diversos sistemas automatizados disponíveis no mercado, dentre os quais, o uso de um sistema hidráulico acoplado em um quadriciclo tornou-se o mais popularizado (Fig. 7B). Este sistema utiliza, na maioria dos casos, o trado de rosca como amostrador, embora existam variações utilizando o trado calador. Embora a pá-de-corte ainda seja considerada o amostrador referência, o grande volume de solo coletado, o maior tempo consumido na coleta de cada subamostra e a dificuldade de automatização, tem restringido sua utilização nas áreas manejadas com AP.

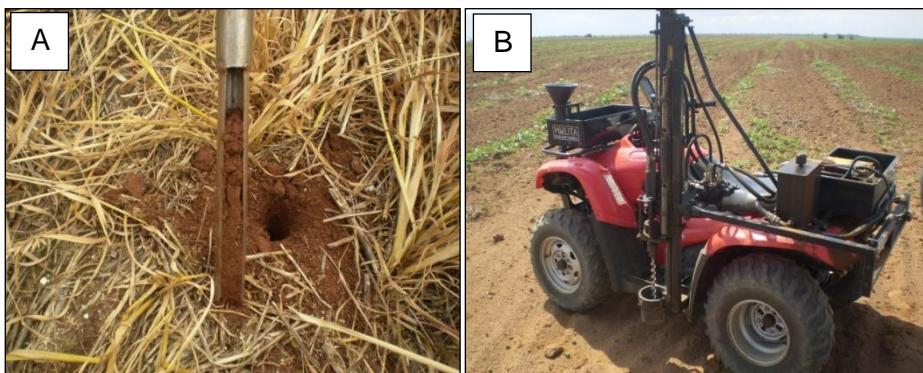


Figura 7 Instrumentos de amostragem de solo, a) trado calador (amostragem manual); b) trado rosca acoplado por um sistema hidráulico a um quadriciclo (amostragem automatizada). Fotos: Maurício Cherubin.

Cada tipo de amostrador apresenta vantagens e desvantagens, e devem ser consideradas no momento da escolha. Trados caladores têm como principais limitações a maior dificuldade de introduzi-lo em solos muito secos ou compactados. Além disso, o trado provoca a deformação no solo (compactação) no momento que é introduzido, reduzindo a espessura da camada amostrada, e consequentemente dificultando a coleta da exata camada desejada. Por outro lado, o trado rosca, especialmente em sistemas automatizados, apresenta limitações para coletar amostras em solos argilosos muito úmidos (amostra é muito pegajosa e fica aderida nas canaletas da rosca) e em solos arenosos secos (amostra é muito solta e sem aderência para manter-se junto a rosca), assim como, este tipo de amostrador tem dificuldade para coletar os primeiros centímetros do solo.

O principal aspecto que os amostradores de solo necessitam evoluir, especialmente aqueles acoplados a sistemas automatizados, refere-se à coleta estratificada em diferentes camadas (ex. 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,60 m). Atualmente, os poucos sistemas disponíveis no mercado, apresentam problemas de contaminação da amostra, devido a mistura de solo oriundo de diferentes camadas.

4.2.6 Potencialidades e limitações do uso de malhas amostrais

As principais potencialidades e limitações da amostragem sistemática utilizando malhas amostrais regulares estão summarizadas a seguir:

Potencialidades:

- ▲ Método utilizado em larga escala desde o surgimento da AP.
- ▲ Permite caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo investigados e orientar intervenções de manejo em sítio-específicos.
- ▲ Procedimento prático é de fácil execução, não demanda equipamentos de alto custo e mão-de-obra especializada.
- ▲ Amostragem em malhas amostrais pode ser realizada em qualquer área, independente do histórico de manejo e tempo de adoção da AP.
- ▲ Não necessita do conhecimento prévio da variabilidade espacial dos atributos do solo.
- ▲ Com a evolução tecnológica todas as etapas da amostragem georreferenciada de solo podem ser realizadas diretamente no campo. Aplicativos para *smartphones* permitem o georreferenciamento da área, geração da malha, plotagem dos pontos amostrais e por fim, orientam a localização dos pontos amostrais de lavoura.

Limitações:

- ▼ Investigações detalhadas exigem amostragens mais densas (maior número de amostras) e, elevam os custos da amostragem e análises laboratoriais.
- ▼ Necessidade de padronização de procedimentos metodológicos, tais como: número de amostras e subamostras, arranjo espacial das subamostras e tipo de amostradores.
- ▼ Um ponto amostral pode representar diferentes tipos de solo.
- ▼ Pode haver amostragem excessiva em subáreas (baixa variabilidade) do talhão e insuficientes em outras (alta variabilidade).

4.3 Amostragem de solo em zonas de manejo

4.3.1 Demarcação das zonas de manejo

Zonas de manejo ou unidade de gestão diferenciada são subáreas delimitadas dentro da lavoura, que apresentem mínima variabilidade espacial de potencial produtivo, eficiência do uso de insumos e riscos de impactos ambientais. A demarcação dessas zonas pode ser realizada utilizando diferentes parâmetros de solo (ex. classes de solo, textura, matéria orgânica e condutividade elétrica), de planta (ex. produtividade de grãos e índice de vegetação), de relevo (ex. altitude e declividade) e de rentabilidade (ex. mapa de lucratividade), sendo estes de forma isolada ou combinados (maior eficiência). Dentre as inúmeras possibilidades, a definição de zonas de manejo a partir de um histórico de mapas de produtividade tem sido uma das metodologias mais utilizadas (Molin, 2002; Santi et al., 2013), uma vez que as zonas são delimitadas a partir da variável resposta da planta, e trata-se de uma informação que muitas vezes já está disponível na propriedade e sendo subutilizada. De acordo com Santi et al. (2013), para diferenciar zonas estáveis com distinto potencial produtivo, sugere-se utilizar pelo menos três mapas de produtividade, preferencialmente incluindo diferentes culturas. Apesar de ser a forma mais usual a definição de zonas de manejo a partir de mapas de colheita, deve se ter cuidado quando se pretende utilizar essas zonas para a orientação da amostragem de solo, pois na maioria dos trabalhos disponíveis na literatura a produtividade das culturas não está altamente correlacionada com atributos químicos do solo. Sendo assim, sugere-se que para a orientação de amostragem de solo seja utilizado dados dos atributos químicos do solo na definição das zonas de manejo.

Apesar da simplicidade conceitual, a definição de zonas de manejo é uma tarefa um tanto complexa. O primeiro passo é coletar os dados que orientarão a delimitação dessas zonas. Quando são utilizados dados de produtividade, alguns cuidados adicionais são necessários, especialmente em

relação à filtragem de erros. Os erros encontrados com mais frequência em mapas de produtividade são: dados subestimados durante o período de enchimento da colhedora, presença de pontos com coordenadas repetidas e produtividade improvável (muito alta ou muito baixa) (Santi et al., 2013). Posteriormente, utilizando diferentes procedimentos metodológicos as informações coletadas são sobrepostas e define-se as zonas similares a partir de critérios pré-estabelecidos. Por exemplo, o procedimento mais simples que tem sido utilizado, sugere que os mapas de produtividade sejam relativizados de acordo com a produtividade média da área, sobrepostos, e as zonas de manejo delimitadas de acordo com os percentuais de produtividade, em três classes: <95%, de 95 a 105% e >105% da média geral de produtividade da lavoura. A última etapa é a demarcação física dos limites das zonas na lavoura, visando orientar os operadores durante a execução das práticas de manejo (Figura 8).

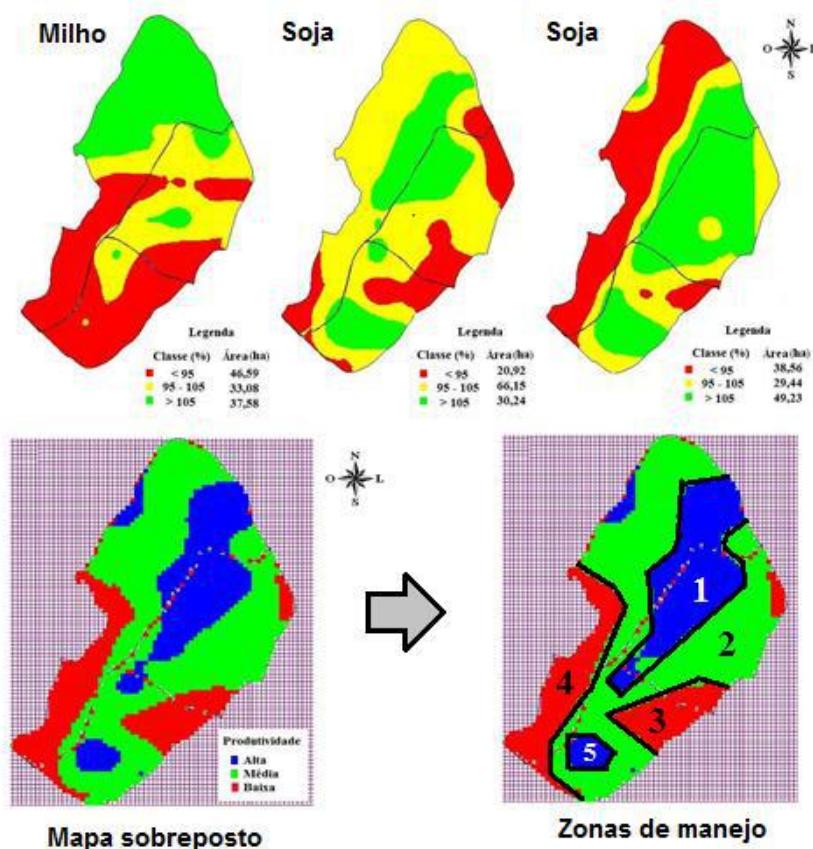


Figura 8 Etapas para a demarcação das zonas de manejo.

4.3.2 Amostragem de solo dirigida

A amostragem dirigida marca um segundo momento dentro do manejo da fertilidade de solo em áreas manejadas com AP, a qual se destina apenas aqueles produtores que ao longo dos anos construíram um banco de dados consistente, permitindo a distinção de zonas de manejo estáveis. A amostragem de solo dirigida não é o ponto de partida da AP em uma propriedade, são necessários alguns anos de “preparação”, com coleta de dados de produtividade e manejo da variabilidade espacial dos atributos do solo, identificada através da amostragem georreferenciada.

A partir da identificação e delimitação de zonas de manejo estáveis na área a amostragem de solo para fins de manejo da fertilidade pode ser conduzida utilizando o mesmo protocolo da amostragem tradicional. Sugere-se coletar pelo menos uma amostra a cada 50 ha, composta por 15-20 subamostras coletadas em caminhamento em “zigue-zague” dentro da zona, como ilustrado na Figura 9. Desta forma, tem-se uma redução drástica do número de amostras de solo coletadas em relação à amostragem em malhas, reduzindo os custos com serviços de amostragem e análises laboratoriais.

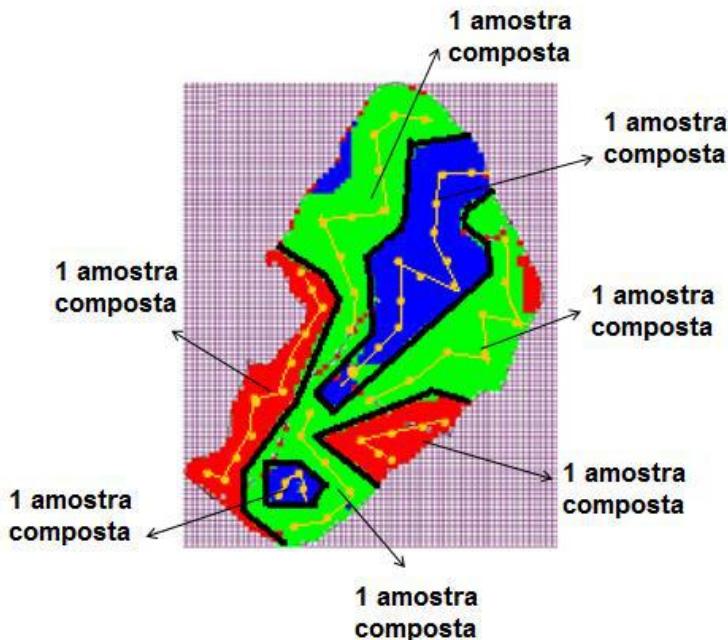


Figura 9 Ilustração do esquema de amostragem de solos em zonas de manejo.

Diferentemente da amostragem georreferenciada utilizando malhas amostrais, os resultados da amostragem de solo dirigida não permitem identificar ou monitorar a variabilidade espacial dos atributos do solo, uma vez que fornecem uma informação pontual (média) para toda a zona de manejo. Assim, dentro de uma mesma área, cada zona é amostrada e manejada de modo tradicional, orientado por valores médios. Por outro lado, a amostragem em zonas de manejo, possibilita investigar de modo mais aprofundado quais são os fatores que estão afetando de maneira mais significativa a produtividade das culturas, pois facilita a investigação de um grande número de variáveis, o que em uma amostragem sistemática não seria possível e/ou economicamente viável. Um exemplo dessa potencialidade foi apresentado por Santi et al. (2012) em um estudo conduzido em Palmeira das Missões – RS, uma das áreas pioneras na adoção da AP no Sul do Brasil. Em três zonas de manejo (baixa, média e alta capacidade produtiva), foi investigada a influência exercida por diversos atributos químicos e físicos na produtividade de grãos. Os autores concluíram, que entre as variáveis químicas e físicas avaliadas, o desequilíbrio de bases (Ca, Mg e K) e a limitação da infiltração de água no solo, respectivamente, são as que mais frequentemente limitam a produtividade de grãos.

A amostragem em zonas de manejo ainda não é uma realidade na maioria das áreas manejadas com AP no RS e no Brasil. Os principais entraves estão relacionados à falta de continuidade e históricos de dados dessas áreas, a falta de conhecimento técnico dos difusores da AP em escala de campo, e também a resistência dos produtores às mudanças no modo de manejá suas propriedades. Entretanto, acredita-se que a “revolução” tecnológica que está ocorrendo aliado aos avanços obtidos pela pesquisa podem ser os propulsores da AP nos próximos anos. Desta forma, mais propriedades estarão preparadas para os novos desafios de manejo e gestão de recursos associados à produção agrícola.

4.3.3 Potencialidades e limitações das zonas de manejo

As principais potencialidades e limitações da amostragem dirigida utilizando zonas de manejo estão summarizadas a seguir:

Potencialidades:

- ▲ Redução do número de amostras coletadas e consequentemente dos custos de amostragem e análises laboratoriais.
- ▲ Possibilidade de conduzir investigações mais detalhadas dos possíveis fatores que estão condicionando a obtenção de baixas ou altas produtividades.

Limitações:

- ▼ Exigência de um grande banco de dados (histórico de dados) da área, para definição das zonas de manejo, portanto não é nos primeiros anos de adoção da AP que este método de amostragem poderá ser utilizado. Em função disso, atualmente o uso comercial da amostragem de solos em zonas de manejo ainda é bastante limitada;
- ▼ Exigência de profissional especializado para delimitar as zonas de manejo;
- ▼ Não permite monitorar a variabilidade espacial dos atributos do solo investigados, sendo necessário realizar periodicamente uma amostragem sistemática;
- ▼ Poucas pesquisas conclusivas que comprovem a eficiência do manejo da fertilidade do solo baseado em zonas de manejo, tendo-se a possibilidade de aumentar a variabilidade espacial existente do solo.
- ▼ Quando os níveis de fertilidade estão elevados a correlação destes com a produtividade é baixa ou nula.

4.4 Considerações finais e Perspectivas Futuras

A introdução da amostragem georreferenciada de solo, como a principal estratégia da AP para o reconhecimento e compreensão da variabilidade espacial dos atributos do solo, tem possibilitado enormes avanços no diagnóstico da fertilidade dos solos agrícolas gaúchos e brasileiros. Além disso, tem resgatado o papel fundamental da amostragem de solo na gestão dos nutrientes do solo e da produção agrícola, a qual estava sendo subutilizada “deixada de lado” nas ultimas décadas pelos produtores, técnicos e gestores rurais. Entretanto, apesar desse avanço incontestável, é necessário continuar progredindo e tornando-se cada vez mais eficientes. Trabalhos recentes têm demonstrado que os mapeamentos da fertilidade do solo usando malhas amostrais maiores que 100 x 100 m (uma amostra por ha) permitem apenas reconhecer a existência da variabilidade espacial dos atributos investigados, mas devido a baixa resolução das informações geradas, tornam-se pouco eficientes para orientar ações de manejo visando minimizar essa variabilidade. Desta forma, o refinamento do mapeamento dos atributos do solo deve ser preconizado sempre que possível, visando maior acurácia e eficiência dos recursos empregados na produção agrícola.

Para elevar a eficiência das amostragens georreferenciadas de solo em malhas amostrais regulares sugere-se que em áreas que estão iniciando na AP, seja realizada uma amostragem densa (<1 ponto ha^{-1}), capaz de diagnosticar em satisfatória resolução a variabilidade dos atributos químicos do solo. A partir disso, as amostragens subsequentes poderão se basear nos resultados de variabilidade espacial dos atributos da amostragem antecessora e avaliar a

possibilidade de aumentar o tamanho da malha amostral, e ou utilizar malhas amostrais em diferentes escalas dentro de um mesmo talhão, intensificando a coleta nos locais com maior variabilidade. Para a representação dos pontos amostrais deve-se realizar o máximo de subamostras possível, sendo as amostras simples coletadas em uma área significativa da área total dos pontos amostrais.

Desde o início dos anos 2000, quando a AP foi introduzida no RS, até os dias atuais o conhecimento das técnicas e ferramentas utilizadas pela AP evoluiu muito. Muitas propriedades rurais manejadas com AP têm acompanhado essa evolução e estão preparadas para os novos desafios. Em relação ao manejo da fertilidade do solo, embora ainda pouco popularizada em nível de campo, a amostragem de solo em zonas de manejo têm demonstrado resultados promissores em áreas experimentais, e poderá se consolidar como uma alternativa de gerenciamento do solo e demais recursos utilizados na agricultura. Em outra via, o terceiro e mais futurista direcionamento da AP em relação ao reconhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo, consiste no uso de sensores móveis. O uso de sensores com diferentes princípios de funcionamento (condutividade elétrica; eletrodos íon seletivos, espectrometria VIS-NIR) permite a coleta de um grande volume de dados em tempo real diretamente no campo. Embora já existam alguns equipamentos sendo comercializados no exterior, no Brasil ainda estamos em fase inicial de pesquisas, buscando melhor entendimento dos princípios de funcionamento, calibrações, transformações e modelagem dos dados, algoritmos de predições, viabilidade técnica e econômica, dentre outros. Desta forma, muito provavelmente em poucos anos, quando estes sensores estiverem aptos para serem usados comercialmente, estaremos diante de um novo marco na agricultura, onde o reconhecimento e o manejo da variabilidade dos atributos químicos do solo poderão ser executados simultaneamente na lavoura.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa durante o Mestrado, quando a temática desse capítulo foi objeto de estudo.

Literatura citada

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M. Dimensão da malha amostral e a acurácia na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p.168-177, 2015.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; DA ROS, C. O.; BISOGNIN, M. Sampling grids used to characterise the spatial variability of pH, Ca, Mg and V% in Oxisols. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, p. 659-672, 2014a.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; MENEGOL, D. R.; DA ROS, C. O.; PIAS, O. H. C.; BERGHETTI, J. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolos no sul do Brasil. **Ciência Rural**, v.44, p.425-432, 2014b.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.22, p.83-92, 2002.

TONELLO, M. S.; BORTOLUZZI, E. C. Viabilidade técnica do uso de receptores GPS de navegação para fins de amostragem sistemática de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.351-357, 2011.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; DELLA FLORA, L. P.; BASSO, J. C. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitante à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1346-1357, 2012.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; DELLA FLORA, L. P.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1346-1357, 2012.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; SILVA, R. F.; DA ROS, C. O. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, p. 510-515, 2013.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. 2º ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 2007. 330p.

CAPÍTULO 5

Mapeamento da Produtividade de Grãos e Utilização dos Mapas

Mateus Tonini Eitelwein¹, Antônio Luis Santi², Enio Giotto³, Júnior Melo Damian⁴, Maurício Roberto Cherubin⁵, Geomar Mateus Corassa⁶, Cláudir José Basso², Lisandra Pinto Della Flora⁷

Resumo

O mapeamento da produtividade das culturas é uma das principais ferramentas do conjunto englobado pela agricultura de precisão. Neste capítulo são abordados inicialmente os aspectos históricos do desenvolvimento da tecnologia e os primeiros trabalhos desenvolvidos no Brasil, que datam de 1996. Também são apresentados os principais componentes dos sistemas de monitoramento de produtividade disponíveis atualmente no mercado, com enfoque nos métodos de mensuração de fluxo de grãos por massa e volume. Na sequência são discutidos os principais erros nos dados de monitoramento de colheita e trabalhos que exploraram metodologias para remoção destes erros. Em uma segunda etapa são demonstradas como visualizar as informações e as aplicabilidades dos mapas, com foco na definição das zonas de manejo. Por fim são demonstradas algumas estratégias ação para utilização das zonas de manejo.

Palavras-chave: agricultura de precisão; dados de produtividade; unidades de gestão diferenciada; estratégias de manejo localizado

¹ Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas. USP-ESALQ. Av. Pádua Dias, 11 - CP 9, Piracicaba – SP, CEP 13418-900. E-mail: mateus_eitelwein@outlook.com

² Prof. Dr. Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais / UFSM-CESNORS. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, Frederico Westphalen – RS, CEP: 98400-000. E-mail: santi_pratica@yahoo.com.br; claudirbasso@gmail.com

³ Prof. Titular Dr. Departamento de Engenharia Rural, UFSM. Campus Universitário – Camobi, Santa Maria - RS, CEP 97119-100. E-mail: eniogiotto@gmail.com

⁴ Mestrando em Agronomia – Agricultura e Ambiente. UFSM-CESNORS. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, Frederico Westphalen – RS, CEP: 98400-000. E-mail: juniormelodamian@hotmail.com

⁵ Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas. USP-ESALQ. Av. Pádua Dias, 11 - CP 9, Piracicaba – SP, CEP 13418-900. E-mail: cherubin@usp.br

⁶ Doutorando em Engenharia Agrícola. UFSM. Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria - RS, CEP: 97105-900. E-mail: geomarmateus@hotmail.com

⁷ Prof. Dr. Instituto Federal Farroupilha, campus de Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, Frederico Westphalen – RS, CEP: 98400-000. E-mail: lisandra_cafw@yahoo.com.br

Yield mapping and use of yield map data

Abstract

Yield mapping of crops is a key tool within precision agriculture. In this chapter, firstly, we addressed the historical landmarks of the yield mapping development and the first studies performed in Brazil, in 1996. In addition, we presented the principal components of yield mapping systems commercially available, highlighting the methods of grain flow measurement by mass and volume. Afterward, we showed and discussed the most frequent errors in data collecting for yield mapping as well as methodologies to remove these errors. In a second moment, we showed how to transform yield data in a georeferenced map and practical applications of the yield map, focusing in division of site-specific management zone. Finally, we provided some examples of action strategies for site-specific management zone.

Keywords: precision agriculture; yield data; site-specific management zone; strategies of site-specific management

5.1 Histórico

A automatização da operação de sensores embarcados em colhedoras possibilitou produzir mapas da produtividade de grãos a partir da década de 80, ganhando um enorme apelo comercial na década de 90, sobretudo nos EUA e Europa. A inserção no mercado brasileiro iniciou no fim da década de 90 e se popularizou somente depois dos anos 2000. No entanto, o que poucos sabem, é que a compreensão de que as culturas possuem uma alta variabilidade de produtividade em uma mesma área já havia sido relatada na década de 30 na Austrália por Smith et al. (1938), que elaborou manualmente o primeiro mapa de produtividade que se tem relato na literatura (Figura 1).

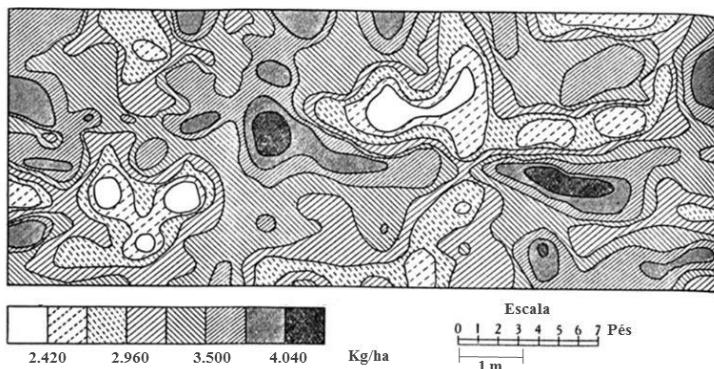


Figura 1 Mapa de produtividade de trigo da safra de 1934 elaborado manualmente em Canberra na Austrália (adaptado de Smith, 1938).

A compreensão de que a produtividade varia de acordo com o local da lavoura foi o ponto de partida para o desenvolvimento de sistemas automatizados capazes de monitorar a produtividade. Para isso foi necessário integrar alguns sensores que trabalhando em conjunto poderiam produzir a informação necessária ao produtor rural. Os primeiros mapas de produtividade experimentais foram gerados na Europa ainda na década de 80, no entanto, os sistemas de mapeamento da produtividade começaram a ser comercializados em 1992 (BLACKMORE & MOORE, 1998).

No Brasil o primeiro relato na literatura de monitoramento da produtividade de grãos data de 1996 (Figura 2), quando foi elaborado o primeiro mapa de produtividade de milho do Brasil pela ESALQ/USP (BALASTREIRE et al., 1997). Nesta época, ainda havia imprecisão na coordenada fornecida pelo GPS, ocasionado pela disponibilidade seletiva que era um erro intencional introduzido pelo governo norte americano no sinal. Para contornar esse problema era necessário um sistema de correção diferencial que atuava com uma base fixa enviando a correção via sinal de rádio.

No Rio Grande do Sul, os primeiros estudos foram realizados pela UFSM, principalmente a partir de 2000, o que culminou posteriormente na criação do Projeto Aquarius e do módulo de Agricultura de Precisão do Sistema CR – Campeiro. Os primeiros mapas de produtividade com análise acadêmica foram realizados na safra de 2000/2001 e apresentados por Sulzbach (2003), evidenciando uma variabilidade de 20 a 65 sacas de soja em uma lavoura no município de Palmeira das Missões – RS (Figura 2).

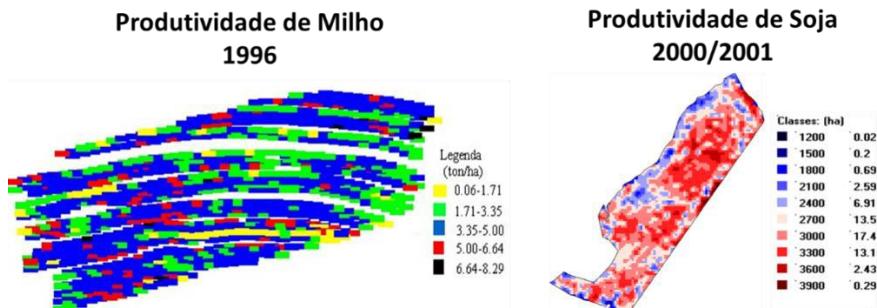


Figura 2 Mapa de produtividade de milho elaborado pela ESALQ/USP em 1996 (Balastreire et al., 1997) e de soja no RS elaborado pela UFSM (Sulzbach, 2003).

5.2 Como os sistemas operam?

O conjunto de sensores integrados que permitem monitorar a produtividade pode ser chamado de sistema de monitoramento de colheita. O mapeamento só é possível quando se integram todas as informações derivadas

destes sensores. Cada marca comercial possui uma leve diferença no arranjo dos componentes do sistema, no entanto, a maior parte dos sensores é comum a todos os fabricantes. Na figura 3 pode-se visualizar os principais componentes de um sistema de monitoramento de produtividade de grãos com a sua respectiva localização. A posição de alguns deles pode variar de acordo com o fabricante, como é o caso do sensor de umidade de grãos e de velocidade da colhedora, que serão discutidos posteriormente. Nos próximos tópicos são descritos separadamente os componentes e o princípio de funcionamento de cada um deles.

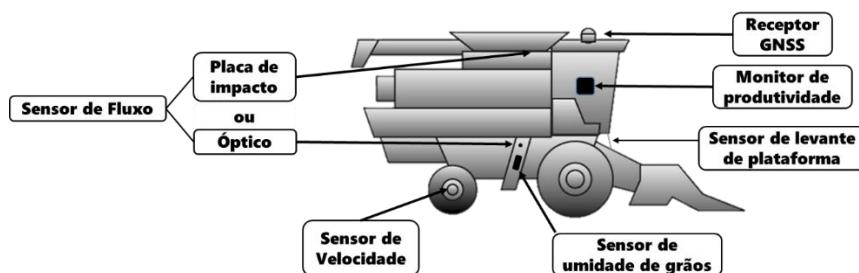


Figura 3 Localização dos sensores do sistema de monitoramento de produtividade de grãos.

5.2.1 Medidores de fluxo de grãos

A tecnologia de medição de fluxo de sólidos em condições estáticas como em armazéns ou indústrias processadoras e embaladoras já está bastante solidificada, desta forma, o desafio gerado a partir do final da década de 80, foi tentar medir o fluxo de grãos em colhedoras de cereais sob condições dinâmicas (MOLIN, 2000). Durante o desenvolvimento dos sensores, especial atenção foi dada para que os mesmos não fossem sensíveis, ou minimizassem as vibrações mecânicas transmitidas pela máquina, o que traria consigo erros de acurácia (MOORE, 1998).

O sensor de fluxo de grãos é instalado no elevador de grãos limpos da colhedora, mensurando a quantidade de grãos que entram no tanque graneleiro em um determinado momento. Dois são os métodos que predominam no mercado: os que mensuram o fluxo de massa (gravimétricos) e os que mensuram o fluxo de volume (volumétricos) (MOLIN et al., 2015).

No método de fluxo de massa (gravimétrico) os que utilizam placa de impacto são um os mais comuns no mercado (MOLIN et al., 2015), por ser um sensor mecânico e com tecnologia bem estabelecida (Figura 5). A placa de impacto é instalada junto à saída de grãos limpos do elevador, onde o deslocamento da placa causado pelo impacto dos grãos é mensurado por uma célula de carga ou um potenciômetro. A célula de carga é composta por

extensômetros (*strain gage*) que são elementos capazes de mensurar a deformação do material a que estão aderidos, desta forma quanto maior a força aplicada pelos grãos na placa, maior será a deformação do material que a sustenta e desta forma, maiores as leituras da placa. A maioria das balanças comerciais utiliza células de carga para operar, em termos simples o que se faz é instalar uma “balança” no final do elevador de grãos limpos. A célula de carga fornece uma resposta elétrica devido a um estímulo mecânico (impacto dos grãos) e desta forma precisa ser calibrada. A calibração é dada pela relação linear entre o sinal elétrico da célula de carga (devido a deformação do material) e o fluxo instantâneo de grãos que atingem a placa.

No caso do potenciômetro, a resistência elétrica do sinal é alterada na medida em que ele gira, similar aos controles de volume analógicos de rádios e tv's. Desta forma, a instalação do potenciômetro em algum ponto da placa de impacto exige uma adaptação maior do local. Os sensores de fluxo de massa são altamente sensíveis a mudanças na velocidade do elevador de grãos e geralmente utilizam um sensor auxiliar que monitoram essa velocidade para compensar o valor obtido na placa de impacto (MOLIN, 2015).

No método de fluxo de volume (volumétrico) o sensor mais comum é o infravermelho, sendo instalado em um ponto do curso do elevador de grãos limpos (Figura 6). A técnica baseia-se na emissão de uma radiação infravermelha em um dos lados do elevador, onde no lado oposto, um elemento fotosensor registra o tempo de recepção e ausência de luz, quanto mais cheias estiverem as taliscas do elevador maior o tempo de ausência de luz (MOORE, 1998). Esta técnica é altamente dependente de uma calibração na qual se informa a densidade dos grãos além de sofrer muita influência da inclinação lateral da máquina (MOLIN, 2000), exigindo a instalação de sensores auxiliares para medir essa inclinação. Este tipo de equipamento é geralmente comercializado em *kits* para instalação em colhedoras que não vieram com os sensores instalados de fábrica.

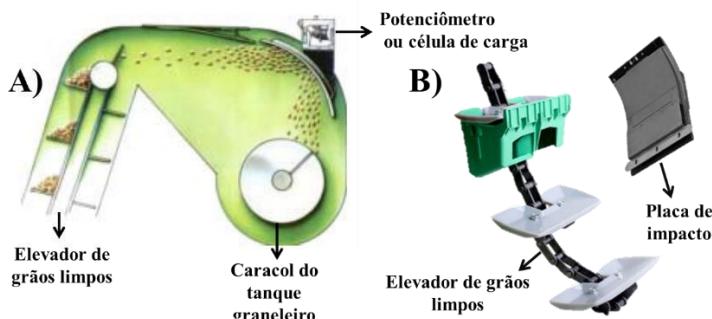


Figura 5 Sistema de monitoramento de fluxo de massa de grãos por placa de impacto.
Fonte: Adaptado de Morgan & Ess, 1997(A) e Precision Planting®, 2015 (B).

No início dos anos 2000 as colhedoras comercializadas no Brasil começaram a oferecer os sistemas de monitoramento da produtividade exclusivos do fabricante. Com o passar dos anos novas empresas entraram no mercado, oferecendo *kits* que podem ser adaptados à maioria das colhedoras. A principal distinção entre os conjuntos comercializados está no sensor de produtividade que embora possa ter princípios de mensuração iguais, possuem pequenas particularidades que os diferenciam.

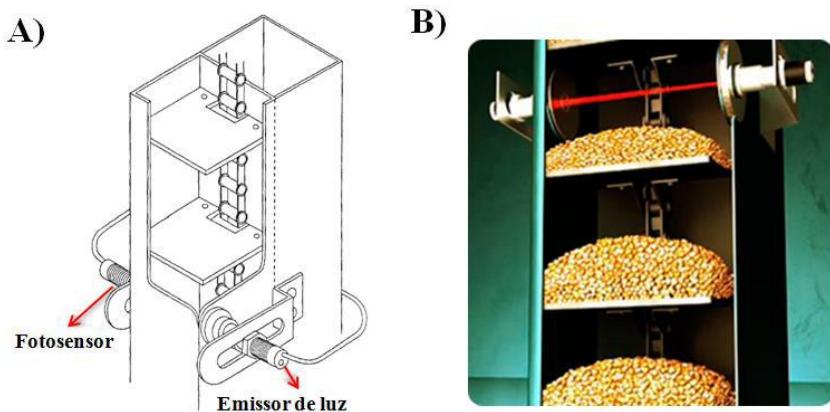


Figura 6 Sistema de monitoramento do fluxo de volume de grãos através de sensor infravermelho. Fonte: A) Moore (1998); B) Trimble® (2013).

5.2.2 GNSS - Georreferenciamento da informação

Os sistemas de navegação por satélites são responsáveis por atribuir uma coordenada a cada informação gerada pelo conjunto de sensores do sistema de monitoramento da colheita. A partir do ano de 2000, o governo norte americano removeu a chamada “disponibilidade seletiva”, um erro associado ao sinal que impedia a operação de receptores GPS civis com precisão inferior a 90 metros. Este foi um grande marco para a popularização de pesquisas em AP, que até então eram desenvolvidas com precisão apenas por pessoas que possuíam um sinal de correção diferencial.

Atualmente existem pelo menos quatro constelações de satélites de posicionamento que estão parcialmente ou em plena operação, são elas: a) GPS: em plena operação e administrado pelos EUA; b) GLONASS: operando plenamente e administrado pela Rússia; c) GALILEO: parcialmente em operação e administrado pela União Européia; d) BeiDou: parcialmente em operação e administrado pela China. Em termos de precisão, o GPS continua sendo o de melhor desempenho, no entanto, a maioria dos novos receptores utilizados nas

colhedoras já é compatível com pelo menos duas constelações, o que permite sintonizar mais satélites e, desta forma, melhorar suavemente a precisão da coordenada.

Para obter coordenadas com erro abaixo de 2 metros ainda é necessário o uso de receptores com algoritmos de correção interno ou com correção diferencial (via rádio ou satélite). Em relação ao georreferenciamento do ponto de produtividade o uso de receptores de navegação (com erros acima de 2 m) não chega a ser um problema, no entanto, alguns sistemas utilizam o dado de velocidade do receptor para a cálculo da área colhida, neste caso são exigidos receptores mais precisos. A vantagem em utilizar um receptor mais preciso não se limita somente a melhor qualidade da coordenada, mas ao aumento do rendimento operacional proporcionado pelo sistema de direcionamento automático (piloto automático) que possibilita a colheita com plataforma cheia. A qualidade da informação vai depender do investimento ao qual o produtor está disposto a fazer.

5.2.3 Sensores de velocidade, posição da plataforma e umidade

Este conjunto de sensores é responsável pela coleta adicional de informações, permitindo determinar a produção por área (produtividade) corrigida para um padrão de umidade desejado.

A mensuração da velocidade de deslocamento da colhedora pode ser realizada de diferentes formas. Uma maneira é utilizar sensores de pulso magnético instalados junto às rodas dianteiras ou traseiras (mais comum), onde na medida em que a roda gira, pulsos são transmitidos ao monitor. Há ainda opções de mensuração indireta através da instalação de radares e ultrassom em estruturas próximas do solo, determinando o deslocamento através da emissão e recepção de sons ou micro-ondas. A utilização de receptores GNSS precisos pode eliminar o uso destes tipos de sensores.

O sensor de altura de plataforma ou posição do cabeçote é responsável por ativar ou desativar o armazenamento de dados, uma vez que a plataforma se encontra levantada, o sensor informa o monitor que cessa a coleta. Este sistema foi criado para evitar a coleta de dados errôneos, principalmente em situações onde a colhedora encontra-se em manobras de cabeceira, desvios, deslocamentos sem corte, etc. (MOLIN, 2000).

O sensor de umidade determina a umidade instantânea dos grãos que passam pelo elevador de grãos limpos, podendo ser instalado em qualquer ponto do elevador ou ao final deste, ao longo do caracol espalhador no graneleiro. O princípio de mensuração mais comum é o de capacidade, semelhante a muitos determinadores utilizados em laboratórios (MOLIN, 2000). Especial atenção deve ser dada na calibração e principalmente limpeza deste sensor, uma vez que a produtividade da área será corrigida para um teor de umidade com base

nas leituras deste equipamento. Há muitos relatos de problemas de entupimento do curso do amostrador o que resulta em leituras consecutivas de uma mesma amostra.

Apesar de algumas colhedoras possuírem o sinal de correção diferencial de GNSS, é comum haver erros de mensuração da produção por área, isso ocorre geralmente devido largura de corte informada ao monitor de produtividade ser diferente da efetiva. Alguns monitores oferecem a opção de informar manualmente quanto da plataforma está devidamente realizando a colheita (em casos onde não é utilizada toda a largura da plataforma). Porém devido a estas faixas variarem constantemente em culturas como soja e trigo por tratarem-se de bordaduras e arremates de colheita, poucos operadores realmente informam este valor ao monitor de colheita.

Zhao et al. (2010), desenvolveram em caráter experimental um sensor ultrassônico que funciona acoplado nas duas extremidades da plataforma de corte da colhedora, visando determinar em tempo real a largura efetiva de corte da plataforma. Além dessa informação o sensor é capaz de determinar com precisão o tempo de enchimento da colhedora, que é outra fonte de erros nos dados de colheita.

5.3 Unindo as informações

De posse de todos os dados fornecidos pelos sensores básicos de um conjunto de monitoramento de colheita, o sistema central de processamento e armazenamento de dados executa a construção de um banco de informações organizado que seja passível de interpretação pelo técnico e/ou produtor. O formato de arquivo oriundo do monitor de produtividade pode ser de código aberto ou fechado, dependendo do fabricante (MENEGATTI e MOLIN, 2004). Os de código aberto geralmente são arquivos de texto (txt) ou *shape files* (shp) que podem ser abertos sem qualquer dificuldade em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os criptografados por sua vez dependem do uso de um software proprietário da empresa fabricante.

Um arquivo de dados de colheita contém uma quantidade relativamente grande de informações, variando de 500 a 1300 pontos por hectare, geralmente determinadas por intervalos de tempo configurados no monitor (MOLIN, 2000). Cada ponto representa uma área retangular do talhão que é dada pela largura da plataforma em função do deslocamento da máquina. A transformação dos valores em produtividade por hectare com correção para uma umidade padrão é realizada pelo próprio monitor de colheita.

Na figura 4 pode-se visualizar o que ocorre internamente na colhedora desde o tempo de início até o fim do processo de registro de dados de produtividade. A etapa inicial compreende o tempo em que a máquina entra no modo de colheita e as primeiras plantas ou espigas começam a entrar no sistema

de trilha. Há um retardo no tempo até que os grãos colhidos atinjam o sensor de fluxo que está localizado no elevador de grãos limpos, esse intervalo é chamado de tempo de enchimento da colhedora. A maioria dos sistemas ativa o registro de dados quando o sensor de fluxo registra uma produtividade de 80% da média da área. No fim do processo quando a colhedora encerra o corte, automaticamente entra em um processo de esvaziamento, da mesma forma, o registro de dados será desligado automaticamente quando os sensores detectarem uma produtividade abaixo dos padrões pré-estabelecidos ou quando a plataforma for levantada totalmente.

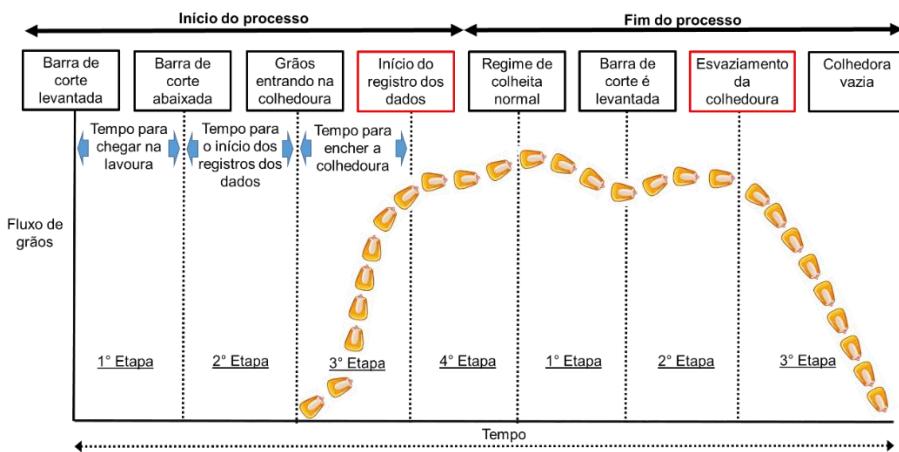


Figura 4 Representação gráfica do início e fim do processo de registros dos dados de produtividade pela colhedora.

5.4 Erros nos dados de produtividade

O sistema de coleta e armazenamento de dados de produtividade não é perfeito, pelo volume de informações e número de equipamentos integrados que demanda, é natural que ocorram erros na aquisição dos dados. Neste sentido, vários pesquisadores têm buscado identificar e corrigir tais erros. Menegatti & Molin (2003; 2004) avaliando seis monitores de produtividade encontraram erros de posicionamento, largura incorreta de plataforma, intervalos de enchimento de colhedora, dados discrepantes e locais com produtividade, umidade e distância entre pontos nula. A maior frequência destes erros ocorreu devido à largura incorreta de plataforma e umidade nula, com frequência variando de 1,29 a 10,80% e 1,06 a 9,50%, respectivamente, dependendo do monitor de produtividade avaliado.

De maneira geral, os erros são oriundos da compilação de um elevado número de informações em um curto espaço de tempo, coletados sob condições

dinâmicas e sujeitas a interferências físicas oriundas do campo, tais como: mudança de temperatura e umidade, vibração dos equipamentos, presença de poeira, entre outros.

Embora os equipamentos de um conjunto de monitoramento de colheita possam apresentar erros, o impacto destes no conjunto de dados é pequeno. Segundo Santi (2007) apesar da remoção de 8% do banco de dados original por processos de filtragem, a conformação dos mapas sofreu pequenas alterações, sendo mais evidentes nas extremidades da lavoura, principalmente em locais de manobras da colhedora. Os erros mais comuns e que podem ser chamados de “grosseiros” são cometidos por falta de atenção dos operadores, tais como, ausência de calibração e limpeza periódica dos sensores, registro de colheita com meia plataforma, manobras com plataforma abaixada e principalmente falta de familiaridade do operador com o sistema operacional do monitor. Erros dessa natureza podem ser facilmente visualizados e removidos utilizando ferramentas como o software Campeiro 7 (Figura 7A), que possui filtros estatísticos com parâmetros ajustados pelo usuário, como remoção de valores extremos e diminuição da densidade amostral.

Apesar das filtragens serem eficientes, demandam de várias etapas e a maioria delas não considera a posição espacial do ponto. Neste sentido, Spekken et al. (2013) desenvolveram um modelo simples de análise espacial e remoção de pontos que estão em discordância com os vizinhos. O software gratuito (*Annoying Neighbour*) faz uma análise da vizinhança de cada ponto de produtividade de acordo com um raio amostral estabelecido pelo usuário, após a análise a filtragem é realizada com base no coeficiente de variação dos pontos ou desvios da mediana. Os métodos são similares no entanto, a filtragem pelo CV tende a formar agrupamentos mais claros quando comparado com a mediana. Por fim o programa fornece uma visualização dos pontos considerados corretos, duvidosos ou errôneos (Figura 7B).

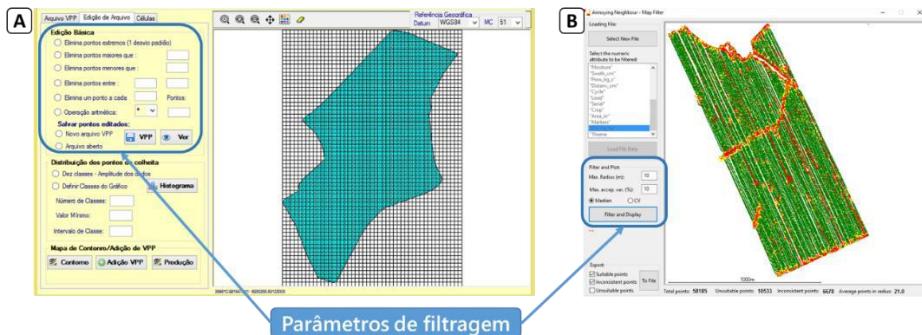


Figura 7 Ilustração do processo de filtragem de dados de produtividade utilizando o software CR Campeiro 7 (A) e o Annoying Neighbour (B).

De maneira geral o que deve ser compreendido pelo operador da colhedora é que a colheita é mais uma etapa de manejo da cultura, desenvolvendo o trabalho com cuidado, afinal esta é a informação final que irá ilustrar a resposta da planta a todas as práticas de manejo a que foi submetida, uma vez perdida esta informação ou parte dela, todo o trabalho de AP é comprometido.

5.5 Análise de mapas de produtividade

5.5.1 Visualização dos dados

A visualização dos mapas geralmente é possível através de um software específico fornecido pelo fabricante do conjunto de monitoramento da colheita, ou ainda por programas genéricos específicos para a AP como SGIS, SST Summit, SMS, InCeres, FalkerMap, CR Campeiro 7, entre outros. De maneira geral, cada fabricante possui um formato proprietário de arquivo que é exportado pelos monitores de produtividade, o que exige a conversão para formatos genéricos (shp, kml, txt...) antes de poder se manipular as informações em um Sistema de Informação Geográfica (QGIS, ArcGIS...). Há diversas maneiras de representação gráfica dos mapas, sendo mais comum a visualização por pontos, interpolação e mapas em terceira dimensão (3D). A visualização de dados em 3D, principalmente em sobreposição a imagens de satélite ou fotografias aéreas possibilita uma análise investigativa de vários fatores que podem ter contribuído na causa da variabilidade da produtividade, tais como, declividade do terreno, caminhos preferenciais de água, falhas na semeadura e adubação, manchas por ataque de pragas entre outros (Figura 8).

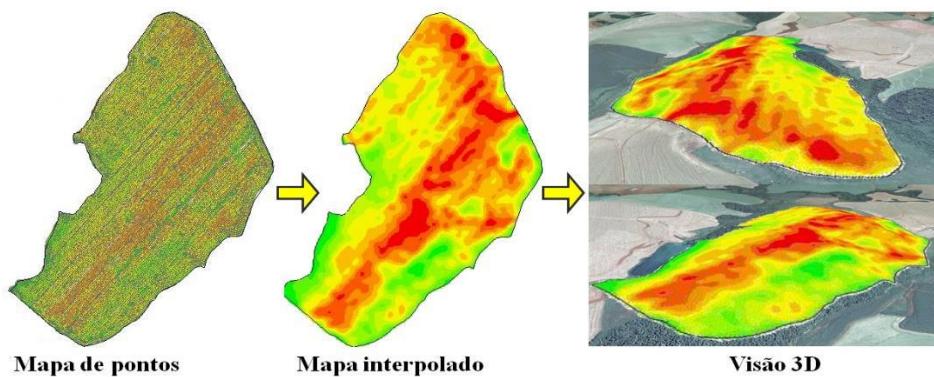


Figura 8 Diferentes maneiras de apresentação do mapa de produtividade.

5.5.2 Gerenciando as informações dos monitores de colheita

Uma das vantagens de se utilizar um amplo conjunto de sensores para monitorar a colheita é o levantamento de uma série de informações que indiretamente podem auxiliar na interpretação dos dados. Como exemplo, pode-se utilizar os dados de altitude dos pontos para gerar um modelo digital de elevação do terreno, permitindo determinar caminhos preferenciais de água e possíveis processos erosivos em escala inicial. Coelho (2000) encontrou correlações negativas significativas entre a produtividade de milho e a elevação do terreno, resultado similar foi verificado por Souza et al. (2008) na cultura da cana-de-açúcar, atingindo maiores produtividades nos locais mais baixos e potencialmente mais úmidos da lavoura.

Alguns conjuntos de monitoramento de colheita estão equipados com sensores que registram dados de perdas de grãos durante a colheita. Estes dados podem ser úteis para uma correta regulagem da colhedora, avaliando o seu desempenho em condições adversas, como colheita com altos teores de umidade do grão, declividade acentuada do terreno e velocidade elevada. Teores de umidade do grão registrados instantaneamente e visíveis pelo operador podem determinar a necessidade ou adiamento da colheita em determinados locais da lavoura.

O registro de informações separadas a cada operação de descarga permite identificar o operador, rendimento de área por hora, velocidade de colheita, perdas e operações de manobra. Estes dados são fundamentais como ferramentas gerenciais de uma propriedade, principalmente para avaliar o desempenho de máquinas e operadores auxiliando no dimensionamento do maquinário visando o aumento da eficiência das operações.

Um exemplo de aplicação dos dados auxiliares obtidos pelos monitores de colheita pode ser visualizado na Figura 9.

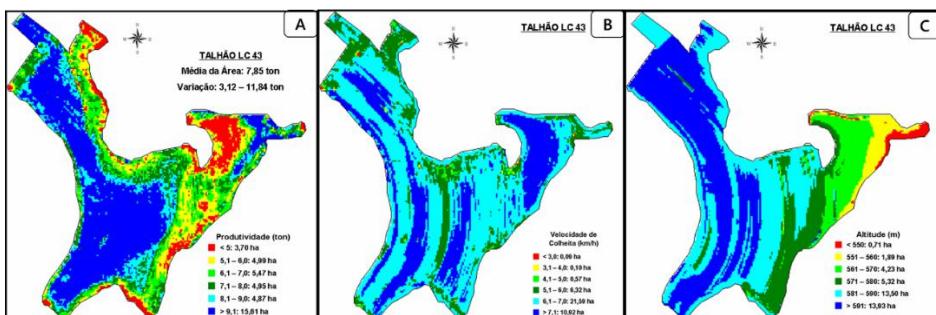


Figura 9 Mapa de produtividade de milho (A) e os dados operacionais referentes a velocidade de colheita (B) e altitude (C).

Embora a velocidade de colheita não esteja relacionada a produtividade de grãos de milho (A x B), os dados de altitude da área (C) demonstram uma associação de altas produtividades com as porções mais elevadas da lavoura.

5.6 O que fazer com as informações?

5.6.1 Análises de causa e efeito

Uma das principais aplicações dos mapas de produtividade é a investigação das causas que levaram a ocorrência de regiões da lavoura com baixa e alta produtividade. Através dessa análise pode-se planejar estratégias de manejo mais eficientes para os anos seguintes.

Na figura 10 é apresentada uma sequência histórica de mapas de produtividade e atributos de solo (teor de argila, fósforo e pH), para uma melhor visualização os mapas foram divididos em 3 classes de percentis, ou seja, cada classe possui a mesma área no mapa.

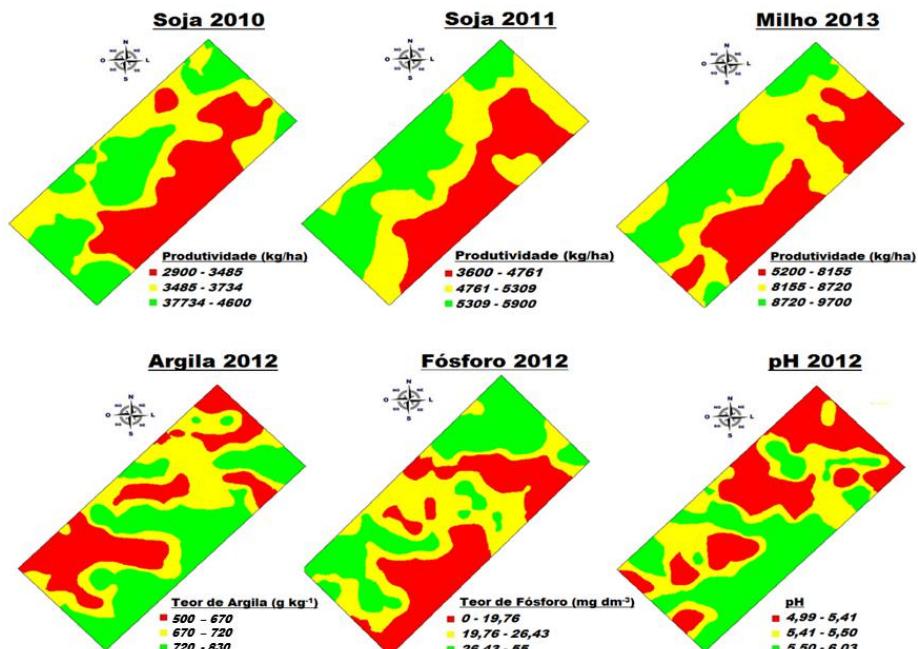


Figura 10 Mapas de produtividade e distribuição espacial da fertilidade do solo em uma lavoura de 40 hectares no município de Boa Vista das Missões - RS.

Dentre os elementos químicos avaliados, o fósforo apresentou a maior correlação com a produtividade, sendo de 19%, 37% e 36% para os mapas de soja 2010, soja 2011 e milho 2013, respectivamente (EITELWEIN, 2013). De maneira geral, as correlações entre produtividade e atributos químicos do solo são baixas, no entanto, a relação entre a produtividade e atributos de solo não ocorre linearmente, desta forma, a análise de correlação pode não expressar o verdadeiro efeito do nutriente.

Seguindo os princípios da lei de Justus Liebig um nutriente só irá apresentar correlação linear com a produtividade se este for o único limitante e essa relação irá existir até que os níveis críticos do elemento sejam corrigidos, a partir de então outro atributo passará a ser o limitante. Desta forma, uma boa estratégia para investigar qual nutriente está exercendo maior limitação a produtividade é cruzar as informações de fertilidade e produtividade dos pontos analisando somente a primeira porção do gráfico, até que a produtividade atinja um patamar. Como a maioria dos atributos químicos do solo apresentam baixa dependência espacial, as correlações devem ser realizadas pontualmente, ou seja, deve-se agrupar valores de produtividade dentro de um raio de até 50 m do ponto de amostragem de solo antes de cruzar as informações.

5.6.2 Adubação por exportação

Uma forma interessante de uso das informações fornecidas pelo mapa de produtividade é a aplicação de insumos em taxa variável com base na exportação de nutrientes pelos grãos. Como muitas vezes a confiabilidade dos mapas de fertilidade é reduzida devido a baixa dependência espacial de alguns nutrientes importantes, como fósforo e potássio (CHERUBIN et al., 2015), essa pode ser uma excelente alternativa uma vez que na colheita, toda a população é amostrada, ou seja, a interpolação tem pouca influência no mapa final. Outra estratégia é a de corrigir os níveis críticos do elemento na área e partir desse ponto realizar a adubação de reposição com base na exportação nos grãos (Figura 11). A adubação com base na exportação não se limita a culturas de grãos e pode ser facilmente utilizada em cultivos perenes e semi-perenes, como citros e cana-de-açúcar.

5.6.3 Unidades de Gestão Diferenciada (UGD) ou zonas de manejo (ZM)

Unidades de gestão diferenciada (UGD's) ou zonas de manejo (ZM) são dois termos que possuem o mesmo significado. As zonas de manejo são locais da lavoura que apresentam um conjunto de características semelhantes permitindo o seu agrupamento para aumentar a eficiência na gestão da área. O correto delineamento das zonas de manejo exige um amplo conjunto de dados

georreferenciados da área, tais como informações de solo, relevo e produtividade.

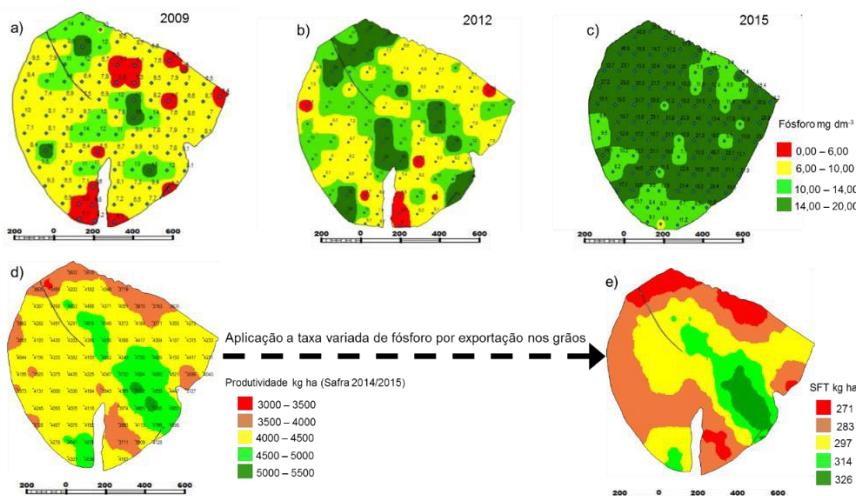


Figura 11 Evolução dos teores de fósforo no solo nos anos de 2009 (a), 2012 (b) e 2015 (c) após a aplicação de superfosfato triplo (SFT) em taxa variável e o mapa de aplicação de SFT (e) segundo a exportação de P nos grãos estimada pelo mapa de produtividade (d).

Entre os pesquisadores, há consenso de que o ponto de partida para a definição das zonas de manejo seja um bom histórico de mapas de produtividade. A partir destes, pode-se realizar uma análise de similaridade, delineando as regiões com produtividade constante (alta, média ou baixa) ao longo dos anos, que chamamos de estabilidade produtiva temporal.

Apesar de haver grande variabilidade espacial na produtividade de uma cultura, é possível em alguns casos observar tendência à similaridade nos mapas. Coelho (2003), utilizando mapas de produtividade de duas safras consecutivas de milho em uma mesma área sob condições irrigadas, observou alta correlação entre os mesmos ($r = 0,75$) não havendo diferenças significativas do efeito ano na produção de grãos. Se os fatores limitantes à produtividade se expressaram igualmente ao longo do tempo, torna-se possível realizar uma análise específica destes locais, através da coleta de informações de atributos de solo, manejo e ambiente para diagnosticar os agentes limitantes da produtividade.

Para Molin (2002) é possível definir unidades de gerenciamento diferenciado através da estabilidade temporal da produtividade, desde que respeitados os limites e condições de agrupamento desejados ou adequados. Uma maneira usual de comparar mapas é através da normalização dos valores absolutos de produtividade, ou seja, transformam-se os dados de produtividade

em um valor percentual em relação à média da lavoura e, partir destes se estabelecem classes de agrupamento (MOLIN, 2002). A partir desta metodologia pode-se determinar zonas com baixa, média e alta produtividade ao longo dos anos, além de diferenciar locais com instabilidade produtiva.

Neste sentido vários autores utilizaram esta metodologia para definir as zonas de manejo, Santi (2007) utilizou seis mapas de produtividade, observando estabilidade produtiva e boa distinção das regiões. Da mesma maneira Trabachini et al. (2009), utilizaram três mapas sequenciais de milho safrinha para definição das regiões estáveis. Kaspar et al. (2003) sugerem que a estabilidade produtiva de milho está altamente correlacionada com o regime de chuvas do local, principalmente em locais de declive acentuado, podendo apresentar comportamento inversamente proporcional em razão de anos secos e normais.

Milani et al. (2006), avaliando cinco mapas de produtividade sequenciais da cultura da soja, verificaram a existência de variabilidade temporal da produtividade, observando padrões de variabilidade pouco semelhantes quanto a distribuição na área, no entanto, foi possível definir eficientemente zonas de manejo. Blackmore et al. (2003), não observaram tendências produtivas ao utilizarem seis mapas de produtividade em quatro campos, avaliando as culturas do trigo, cebola, cevada e canola.

Técnicas mais elaboradas de analisar a estabilidade produtiva foram testadas por Spekken et al. (2013) utilizando análise multivariada nos mapas (Figura 12). Inicialmente foram testados diferentes métodos de filtragem de dados, normalização e tamanho de células de agrupamento. Após a definição dos melhores parâmetros os mapas de produtividade foram submetidos a análise de componentes principais para reduzir a dimensionalidade dos dados, os componentes principais com autovalores maiores que um foram mantidos e seus escores utilizados para a análise de Cluster utilizando o método *K-means*, delineando três zonas de manejo distintas na área. Os mapas de produtividade resultantes demonstraram alta estabilidade temporal, sobretudo de milho, sugerindo que esta cultura tem um alto potencial para delineamento de zonas de manejo.

De maneira geral, a estabilidade produtiva nas áreas não é uma regra, podendo ser variável ao longo dos anos. As culturas de milho e trigo tem apresentado uma maior similaridade produtiva ao longo dos anos, por outro lado a soja pode responder de maneira diferenciada de acordo com o ano de análise. Outro importante fator que pode mudar as tendências produtivas é o clima, em anos secos a variabilidade da produtividade pode se comportar de maneira inversa aos anos úmidos.

É muito importante se ter em mente que existem áreas onde a variabilidade produtiva é muito pequena e não irá formar agrupamentos para diferenciação das zonas. Nenhum método será capaz de gerar esse agrupamento e isso precisa ser respeitado, o produtor deve respeitar que existem áreas com alto potencial de retorno a partir do manejo diferenciado e

outras nas quais as zonas simplesmente não existem. As imagens aéreas de solo exposto e os índices de vegetação (NDVI e NDRE) têm sido utilizados como uma importante ferramenta auxiliar para determinar essas manchas. Na maior parte dos casos onde a variabilidade produtiva é visível, as causas não são oriundas dos atributos químicos do solo mas do manejo, relevo e textura do solo.

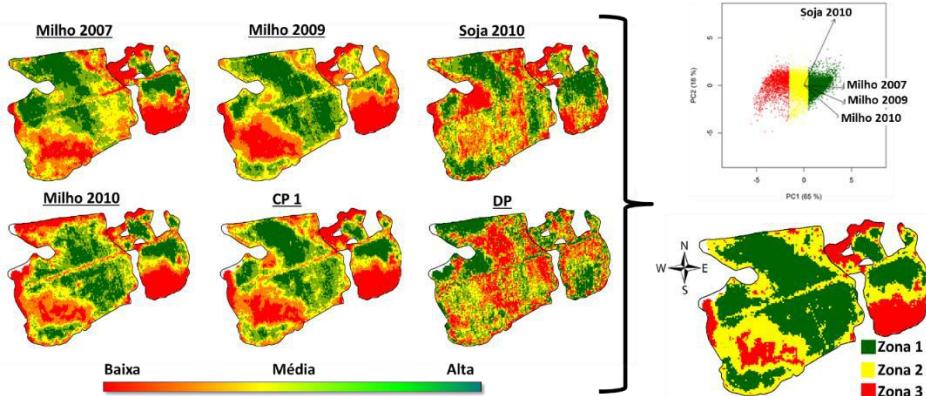


Figura 12 Sequência temporal de mapas de produtividade, componente principal 1 (CP1) e desvio padrão (DP) dos mapas de produtividade (esquerda). Gráfico Biplot dos dois primeiros componentes principais dos mapas de produtividade e mapa final das zonas de manejo (direita). Fonte: Adaptado de Spekken et al. (2013).

5.7 Estratégias de Gestão para as zonas de manejo

No Brasil os estudos de estratégias de gestão para as zonas de manejo são incipientes, algumas alternativas apresentadas estão limitadas a nível de pesquisa. Abaixo são citadas algumas possibilidades de aplicações:

Taxa variável de adubação e semeadura: após definir consistentemente as regiões da lavoura com distintos potenciais produtivos o gestor pode tomar decisões baseadas na expectativa de retorno. Por representar uma parcela importante nos custos de produção, a adubação pode ser gerida redirecionando recursos para as regiões com maior potencial produtivo.

Da mesma maneira, a semeadura de cultivares ou híbridos de milho em taxa variável pode apresentar uma resposta distinta em cada região da lavoura. Anselmi et al. (2013) avaliaram o desempenho de híbridos de milho semeados com diferentes populações em faixas que cruzavam as zonas de manejo. Os híbridos de milho apresentaram a mesma tendência produtiva de acordo com a população, no entanto, o retorno em produtividade foi diferenciado em cada zona de manejo (Figura 13).

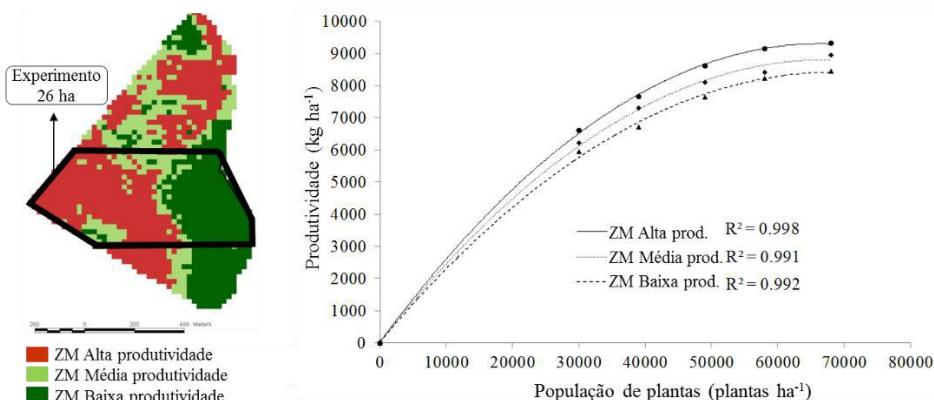


Figura 13 Desempenho produtivo do milho semeado em diferentes populações em cada zona de manejo. Fonte: Adaptado de Anselmi et al. (2013).

Direcionamento de culturas e cultivares/híbridos: o delineamento das zonas de manejo permite orientar corretamente diferentes híbridos ou cultivares para cada região, principalmente observando o potencial produtivo e a adaptação de cada material àquele tipo de ambiente. Em alguns casos onde se tem um longo histórico de mapas de produtividade e uma espacialização do lucro, percebe-se que há regiões da lavoura que poderiam ser destinadas a outras culturas, outros usos (ex. pastagem, silvicultura) ou até mesmo ao abandono de plantio.

Experimentos de curva de resposta: podem ser desenvolvidos pelo próprio produtor para ajustar as suas recomendações de acordo com a resposta dos produtos a suas condições de solo e ambiente. O que se deseja com esses experimentos é avaliar a resposta da cultura em produtividade frente a um determinado tratamento (fertilizante ou produto fitossanitário) em cada uma das zonas de manejo. A partir destas respostas os algoritmos de recomendação de uma adubação nitrogenada, por exemplo, podem ser diferenciados para cada porção da lavoura.

Colheita seletiva: neste tipo de aplicação cada zona de manejo é colhida separadamente, permitindo separar grãos de qualidade superior. Embora, seja uma alternativa interessante, poucos relatos são encontrados na literatura, em sua maioria culturas de alto valor agregado como a videira tem se destacado nessa técnica. Outras aplicações em menor escala são visualizadas na cultura do trigo na Europa devido ao pagamento do grão pela qualidade.

5.8 Considerações Finais

O mapa de produtividade continua sendo a melhor ferramenta de apoio a gestão da propriedade, pois se trata da materialização do resultado de todas

as ações de manejo e ambiente impostas à cultura. As análises de causa e efeito servem como uma escola para o produtor, ensinando-o qual a melhor estratégia para cada porção da lavoura.

Uma vez que a propriedade tenha um sólido banco de dados de produtividade, várias análises podem ser realizadas visando verificar se há estabilidade produtiva e quando há, temos uma excelente informação para delimitar as zonas de manejo. A partir desse ponto, as experimentações de curva de resposta em cada zona de manejo podem guiar o produtor para uma estratégia de gestão específica para cada lavoura.

Apesar do grande potencial de uso da ferramenta, o uso de mapas de produtividade continua sendo pouco popular no Brasil. Os motivos começam na dificuldade de calibração dos sistemas no campo, principalmente porque a maioria exige um sistema de balanças na propriedade. O segundo aspecto é o uso de várias colhedoras na mesma área, isso gera um grande problema se todas não tiverem sido corretamente calibradas.

Por fim, para que a coleta de dados e o uso dos mapas de produtividade ocorram, é necessária a conscientização do gestor rural de que esta é a principal informação da sua área, pois pode ser facilmente traduzida em lucro. Ela deve ser entendida como mais uma ação de manejo assim como pulverização e adubação. Por vezes, a coleta de dados irá gerar um rendimento operacional menor devido às calibrações e paradas para limpeza do equipamento, no entanto, os benefícios dessas informações são imensuráveis e são limitados somente pela imaginação do produtor.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos autores dos trabalhos aqui citados e aos produtores rurais Eliseu Schaedler e Carlos Eduardo da Silva Dauve, pela disponibilização dos dados de produtividade, fomento à pesquisa científica, apoio logístico e imprescindível colaboração na execução dos estudos.

Literatura Citada

ARSLAN, S.; COLVIN, T. S. Grain Yield Mapping: Yield sensing, Yield reconstruction, and errors. **Precision Agriculture**, v.3, p. 135-154, 2002.

ANSELMI, A. A.; MOLIN, J. P.; KHOSLA, R. **Optimization of maize yield: relationship between management zones, hybrids and plant population**. In: 12th International Conference on Precision Agriculture. **Anais...** Sacramento: 12th International Conference on Precision Agriculture, 2013.

BLACKMORE, B. S.; MOORE, M. R. Remedial correction of yield map data. **Precision Agriculture**, v. 1, n.1, p. 53-66, 1998.

BLACKMORE, S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**, v. 84, n. 4, p. 455- 466, 2003.

BALASTREIRE, L. A.; ELIAS, A. I.; AMARAL, J. R. Agricultura de Precisão: Mapeamento da Produtividade da Cultura do Milho. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 5, p. 308-324, 1997.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 168-177, 2015.

COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, R. F.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVARES V., V. H. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.259-290, 2003.

COELHO, A. M. **Irrigated corn yield as related to spatial variability of selected soil properties in a silty clay loam and sandy soils**. 2000. 175p. Thesis (University of Nebraska), Lincoln.

EITELWEIN, M. T. **Definição de estabilidade produtiva e relação com atributos de solo em áreas manejadas com agricultura de precisão**. Dissertação - Mestrado em Mestrado em Agronomia - Agricultura e Ambiente – UFSM, Santa Maria – RS, 2013, 90p.

KASPAR, T. C.; COLVIN, T. S.; JAYNES, D. B.; KARLEN, D. L.; JAMES, D. E.; MEEK, D. W; PULIDO, D.; BUTLER, H. Relationship between six years of corn yields and terrain attributes. **Precision Agriculture**, v. 4, p. 87-101, 2003.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Metodologia para identificação e caracterização de erros em mapas de produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 367-374, 2003.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, p. 126-134, 2004.

MILANI, L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. 1 ed.. São Paulo: Oficina de textos, 2015. 237 p.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.22, n.1, p.83-92, 2002.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para a agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M. P.; QUIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de precisão**. Universidade Federal de Viçosa, 2000.

MOORE, M. **An Investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management**. 1998. 379 f. (Ph. D. Thesis) Department of Agriculture and Biosystems Engineering. Cranfield University. Silsoe - UK.

MORGAN, M., ESS, D. **The Precision Farming guide for agriculturists**. Deere & Company, Moline, USA, 1997, 117p.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 150f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. G.; CAMPOS, M. C. C. Correlação dos atributos físicos e químicos do solo com a produtividade de cana-de-açúcar. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 183-190, 2008.

SMITH, H. F. An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. **Journal Agricultural Science**, v. 28, p. 1-23, 1938.

SPEKKEN, M.; ANSELMI, A. A.; MOLIN, J. P. A simple method for filtering spatial data. In: European Conference of Precision Agriculture. **Anais...** Lleida: European Conference of Precision Agriculture, p. 259-266, 2013.

SPEKKEN, M.; TREVISON, R. G.; EITELWEIN, M. T.; MOLIN, J. P. Assessing definition of management zones through yield maps. In: 12th International Conference on Precision Agriculture, 2014, Sacramento - CA. 12th International Conference on Precision Agriculture, 2014.

SULZBACH, L. Tecnologia de agricultura de precisão: estudo de caso: integração de modelos digitais de atributos químicos do solo e modelos digitais de culturas agrícolas. Santa Maria - RS. 2003.168f Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

TRABACHINI, A.; MANTOAM, E. J.; PAVLU, F. A.; MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo baseado em mapas de produtividade. **Revista Sapere**, v. 1, p. 1-8, 2009.

ZHAO, C.; HUANG, W.; MENG, L. C. Z.; WANG, Y.; XU, F. A harvest area measurement system based on ultrasonic sensors and DGPS for yield map correction. **Precision Agriculture**, v. 11, p.163-180, 2010.

CAPÍTULO 6

Análise econômica do uso da agricultura de precisão

Alexandre Russini¹, Maurício Roberto Cherubin², Guilherme Jost Beras³

Resumo

A agricultura brasileira tem passado por uma série de transformações visando tornar os sistemas produtivos mais competitivos diante de uma conjuntura econômica desfavorável. Esse novo momento da agricultura exige que os agricultores invistam cada vez mais na tecnificação e gestão de suas atividades. Neste cenário, a agricultura de precisão (AP) tem desempenhado um papel importante devido ao constante aprimoramento de suas técnicas e ferramentas em nível de campo, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias referentes à eletrônica embarcada em máquinas agrícolas, com o intuito de se obter melhor qualidade, otimização e redução dos custos de produção. Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo demonstrar através de estudos de caso, a importância da análise e da viabilidade econômica da aplicação das técnicas de AP. Diversos trabalhos realizados nesta área demonstram vantagens na utilização da AP, porém muitos agricultores desconhecem ou de certa forma negligenciam a análise econômica no processo de implantação de novas técnicas em suas propriedades ou aquisição de máquinas e equipamentos. A utilização das técnicas de AP independe do tamanho da propriedade, porém o nível de investimento e de recursos irá depender diretamente do tamanho e da capacidade de investimento de cada agricultor. Os resultados dos estudos de caso apresentados demonstraram que a adoção de ferramentas de AP, tais como a aplicação de fertilizantes em taxa variada apresenta viabilidade e retorno do investimento a curto e médio prazo, mas alertam para a questão do planejamento, pois a AP envolve muito mais que o simples aumento no rendimento das culturas, racionalização no uso de insumos e redução nos custos de produção. Assim dependendo da capacidade de investimento do produtor rural, muitas vezes é preferível terceirizar algumas atividades ao invés de investir em mão-de-obra e máquinas/equipamentos. Além disso, verificou-se que a AP tem uma grande potencialidade como ferramenta de gestão rural, gerando informações que podem subsidiar a tomada de decisão dos produtores frente às futuras estratégias de manejo e investimentos.

Palavras-chave: gerenciamento rural, manejo localizado, planejamento de investimentos, tecnologia, viabilidade econômica.

¹ Prof. Unipampa - Campus Itaqui / Universidade Federal do Pampa. E-mail: alexandrerussini@unipampa.edu.br

² Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” / Universidade de São Paulo. Piracicaba - SP. E-mail: cherubin@usp.br

³ Eng. Mecânico. John Deere. Horizontina - RS. E-mail: berasguilhermej@johndeere.com

Economic analysis of utilization of the precision agriculture

Abstract

Currently, Brazilian agriculture has been transformed making the productive sectors more competitive within an adverse economic scenario. This new moment of agriculture requires higher investments in technologies and management of activities. In this scenario, the precision agriculture (PA) has played a key role due to constant improvement of its techniques and tools, as well as the development of new onboard devices for machines, aiming higher performance quality and lower production costs. The objective of this chapter was showed the economic feasibility and the potentiality of PA as a tool of agricultural management using two case-studies as examples. Several studies have showed the advantages of PA adoption compared to traditional agriculture. However, many farmers have no enough knowledge or neglect the necessity of making an economic analysis when a new technique is adopted or a machine/equipment is purchased. There is no restriction of farm size for adoption of PA tools; but the investment level of the financial resources depends directly of the investment capacity of each farmer. The results of the case-studies showed that adoption of PA tools, such as management of fertilizer using variable rate technology is economically feasible with short- medium-term payback time of investments. However, we highlight that it is necessary a good economic planning, because the PA involves much more than increases of crop yield, improvement of inputs management and reduction of production costs. Therefore, according with investment capacity of farmer, sometimes it is better outsource some activities instead to invest in manpower, machines and equipments. In addition, it was verified that PA has a great potentiality as rural management tool, providing information that can assist the decision-making of farmers in regarding to future management strategies and investments.

Key-words: rural management, site-specific, investment planning, technology, economic feasibility.

6.1 Introdução

A agricultura brasileira vem passando por intensas transformações, baseadas na modernização e intensificação dos processos produtivos. Dentre os agentes dessas transformações, destaca-se a agricultura de precisão (AP). Desde sua introdução no Brasil, no final da década de 90, até os dias atuais, a AP tem constantemente evoluído, possibilitando ao produtor rural sua aplicação nas diferentes etapas do processo produtivo e como uma ferramenta de gerenciamento agrícola.

As ferramentas da AP têm sido amplamente adotadas em áreas de produção de grãos e cereais no centro-sul do Brasil. Mais recentemente, a AP tem expandido para áreas de algodão, cana-de-açúcar, café, citros e outras frutíferas, hortaliças e espécies florestais.

Os principais responsáveis por impulsionar o crescimento da AP são as Universidades e os órgãos de pesquisa que geram as informações e dão o respaldo técnico/científico às ferramentas adotadas no campo, bem como as

empresas de prestação de serviços e de máquinas agrícolas que atuam diretamente com o produtor rural e no desenvolvimento de novos equipamentos e aparatos tecnológicos.

Novas tecnologias requerem em geral maiores investimentos, no entanto, nem sempre esses investimentos em tecnologias garantem maior rentabilidade ao agricultor. Neste sentido, torna-se muito importante o conhecimento, capacidade interpretação e correlação entre fatores técnicos e econômicos envolvidos no planejamento dos investimentos e atividades agrícolas. No que se refere ao gerenciamento no uso de fertilizantes, em uma área piloto do Projeto Aquarius – UFSM, Amado et al. (2006) verificaram que a utilização das ferramentas da AP permitiu uma racionalização no uso e na quantidade de fertilizantes de 53% quando comparado ao sistema tradicional utilizado na propriedade para as culturas como soja, milho e trigo. Os autores destacaram que essa economia no uso de fertilizantes deveu-se a um bom histórico de adubação na área. Por outro lado, em outra área do Projeto Aquarius, os autores verificaram que mesmo obtendo uma redução de 25% no uso de fertilizantes, o custo operacional da AP foi maior comparado à agricultura convencional.

Para Werner (2007), a comparação entre a AP e agricultura tradicional, permitiu inferir que houve uma redução de 0,3% nos custos de produção de soja, aumento na margem líquida em 14,8% e na rentabilidade da cultura em 0,6% em relação à agricultura tradicional. Cherubin et al. (2011b), verificaram que a utilização de ferramentas de AP proporcionou uma redução de 3,8% dos custos de produção relativos a aplicação de corretivos e fertilizantes em taxa variável na cultura do milho. Nesse estudo todas as operações foram terceirizadas. Mainardi (2015), estudando os custos de produção na utilização das técnicas de AP na cultura do arroz irrigado verificou aumento de 30,2% nos custos de produção quando comparado ao sistema convencional de cultivo, no entanto, obteve um aumento de produtividade de 14,3% e lucratividade 10,8% superior em relação ao sistema convencional.

A maior parte dos estudos realizados contemplam análises econômicas comparando a AP e agricultura convencional através de estudos de caso e/ou simulações. Neste sentido, salienta-se que para a realização da análise da viabilidade econômica, diversos outros fatores devem ser levados em consideração, tais como aqueles que fazem parte do ciclo de AP e outros que não estão diretamente envolvidos com aplicação das técnicas, por exemplo, as máquinas e implementos agrícolas que muitas vezes não estão prontamente disponíveis na propriedade e que devem ser adquiridos.

Muitos questionamentos surgem no que se refere ao tamanho de propriedade e nível tecnológico do agricultor para que essas técnicas tornem-se economicamente viáveis. A resposta não é tão simples, necessitando de um estudo detalhado visando apontar as principais alternativas para cada caso conforme as condições econômicas e nível tecnológico do produtor e o tamanho

das áreas de cultivo. Embora a AP possa ser aplicada em qualquer condição citada anteriormente, deve-se atentar ao grau de intervenção e aplicação das técnicas, pois será diferente em cada situação, onde muitas vezes torna-se mais viável terceirizar partes do processo, ao invés de investir em mão-de-obra, máquinas e equipamentos.

Diante disso, o objetivo deste capítulo foi apresentar uma abordagem econômica da AP, visando orientar e instigar o interesse de técnicos e pesquisados que atuam com AP. Para tanto, a seguir serão apresentados dois estudos de caso. O primeiro ilustra a viabilidade econômica da utilização de ferramentas de AP comparada com a agricultura tradicional, e o segundo demonstra a potencialidade da AP como uma ferramenta de gestão rural.

6.2 Desenvolvimento e principais avanços

Diante da atual situação econômica do Brasil, os produtores rurais estão cada vez mais preocupados com custos de produção. As atenções estão voltadas diretamente para a otimização das atividades visando uma posterior redução dos custos. O custo relacionado com a mecanização das operações agrícolas tem assumido uma parcela significativa dos custos finais de produção. Entretanto, isso não significa necessariamente que os gastos no sistema produtivo aumentam em função do incremento de tecnologia embarcada nas máquinas agrícolas. Deve-se atentar que tais avanços tecnológicos permitem explorar de forma mais produtiva um determinado conjunto mecanizado, tendo-se muitas vezes aumentos no rendimento e na capacidade operacional.

A AP utilizada nas lavouras comerciais está diretamente relacionada com a mecanização, necessitando constante adequação e renovação de máquinas e implementos, de modo que permita a otimização de todas as etapas do ciclo da AP em nível comercial. Nesse ponto a análise dos custos deve levar em consideração o custo envolvendo este aparato tecnológico, bem como os ganhos no rendimento operacional das atividades agrícolas.

A análise econômica não pode partir de um único ponto de observação, ou seja, envolvendo apenas os fatores agronômicos. É necessária uma análise conjunta entre o retorno obtido nos parâmetros agronômicos em função da aplicação das técnicas de AP, com os custos demandados pela aquisição, renovação, manutenção, depreciação e operação dos conjuntos mecanizados utilizados no processo. Essa análise permite dimensionar de forma correta e precisa se o produtor rural realmente está tendo retorno do capital investido.

6.3 ESTUDO DE CASO I: Viabilidade econômica da utilização de aplicação de fertilizante em taxa variável na cultura da soja

A realização de um estudo técnico-econômico é uma etapa crucial sempre que se pretende realizar qualquer alteração tecnológica ou de manejo dentro de uma propriedade. Essa análise não ser baseada em critérios subjetivos, pois a situação econômica atual não permite a ocorrência de falhas no planejamento. Nesse sentido, inúmeros trabalhos têm sido realizados envolvendo as técnicas juntamente com a mecanização empregada no processo. Um bom exemplo é o estudo conduzido por Beras (2014). O objetivo desse trabalho foi analisar a viabilidade econômica da semeadura de soja a taxa variável de fertilizante na linha de semeadura em Nova Mutum – MT. Para tanto, avaliou-se aplicação à taxa variável de fertilizante na operação de semeadura utilizando-se uma semeadura equipada com um *kit* desenvolvido para trabalhar a taxa variável tanto de semente quanto fertilizante, tracionada por um trator equipado com sistema de direcionamento automático.

O experimento consistiu na comparação de faixas alternadas com sistema a taxa variável (TV) e taxa fixa de fertilizante (TF) de 15 metros de largura por 700 metros de comprimento, totalizando 10,5 hectares. O arranjo de semeadura pode ser visualizado na Figura 1.

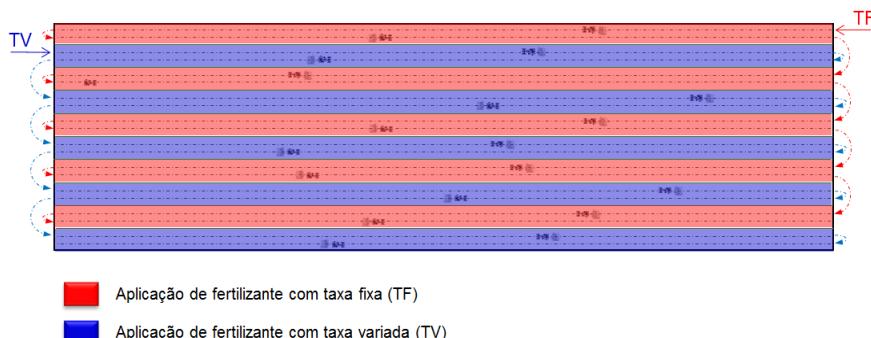


Figura 1 Arranjo do experimento para realização da semeadura a Taxa Fixa (TF) e a Taxa Variável (TV) de fertilizante.

Nas faixas onde o fertilizante foi aplicado a TF, foi utilizada uma dose de 150 kg ha⁻¹, baseada na necessidade média da área, enquanto que nas parcelas onde o fertilizante foi aplicado a TV, as taxas variaram de 100 a 215 kg ha⁻¹ (Figura 2), conforme interpretação do laudo da análise de solo.

Para a realização da análise da viabilidade econômica levou-se em consideração que os custos inerentes ao trator, pulverizador, semeadura e colhedora, bem como os demais custos referentes ao manejo da cultura, foram

considerados iguais para ambos os tratamentos. Já para determinação do custo do *Kit* para taxa variável na semeadura considerou-se apenas o tratamento com taxa variável de fertilizante.

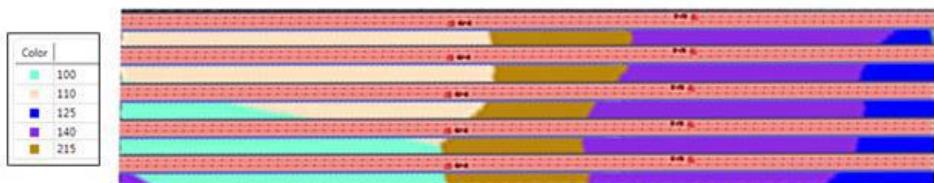


Figura 2 Faixas de semeadura de soja com TF e TV de fertilizante na linha de semeadura.

Na determinação dos custos fixos referentes a cada um dos tratamentos analisados, foram considerados além dos custos referentes à depreciação, os custos relacionados com a remuneração do capital imobilizado, os custos de oportunidade da terra e de comercialização dos produtos, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 Custos fixos dos tratamentos com aplicação de fertilizantes em taxa fixa e variável.

Descrição	Taxa fixa de fertilizante (TF)	Taxa variável de fertilizante (TV)	Média
		R\$ ha ⁻¹	
Depreciação do maquinário	56,01	57,86	56,93
Remuneração do capital imobilizado	25,94	26,24	26,09
Seguro sobre o capital imobilizado	3,24	3,32	3,28
Custo de oportunidade da terra - Arrendamento	267,50	267,50	267,50
Custos de comercialização (Fethab e Facs)	32,63	33,70	33,16
Total de custos fixos ha⁻¹	385,31	388,62	386,97
Custo da TV-TF		3,31	

Pode-se observar que o custo de oportunidade da terra representa 69% dos custos totais, sendo que a depreciação também apresenta uma parcela significativa (14%). Ao analisar os custos fixos verificou-se que a aplicação dos fertilizantes com TV foi 0,8% superior ao TF.

No que se refere aos custos variáveis, foram considerados os custos de aquisição de insumos e produtos necessários aos tratamentos fitossanitários, custos operacionais das máquinas (combustível, mão de obra e manutenção) (Tabela 2).

Os custos do transporte e fertilizantes possuem a maior participação nos custos variáveis em ambos os tratamentos, 41,6% e 16,6%, respectivamente em relação ao custo variável total. No tratamento TV o gasto com fertilizante foi 9,4% menor em relação ao tratamento TF, no entanto os custos com reparos,

manutenção e análises de solo foram 12% maiores no TV. Ao se realizar a comparação final, observa-se que o tratamento a TV foi 0,8% menor que o tratamento TF.

Tabela 2. Custos variáveis da aplicação de fertilizantes em taxa fixa e variável.

Descrição	Taxa fixa de fertilizante (TF)	Taxa variável de fertilizante (TV)	Média
Custos variáveis de insumos			
Sementes	125,28	125,28	125,28
Fertilizante	190,50	172,50	181,50
Herbicida	72,00	72,00	72,00
Herbicida	26,85	26,85	26,85
Fungicida	21,60	21,60	21,60
Inseticida	51,00	51,00	51,00
Total de insumos	487,23	469,23	478,23
Outros custos variáveis			
Manutenção (Reparos, Lubrificantes e Filtros)	17,27	20,27	18,77
Combustível	78,47	78,47	78,47
Mão de obra temporária	35,40	35,40	35,40
Análises de solo	21,50	26,90	24,20
Transporte	453,63	453,63	453,63
Total de outros custos	606,27	614,67	610,47
Custo variável total	1.093,50	1.083,90	1.088,70
Custo da TV-TF	-9,60		

A produtividade de grãos apresentou variação em função dos tratamentos, embora pouco expressiva, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 Parâmetros de rendimento da cultura da soja nos tratamentos com aplicação de fertilizantes em taxa fixa e variável.

Taxa fixa de fertilizante							
Repetição	1	2	3	4	5	Total	Média
Umidade Média (%)	19	18	18	17	17	-	18
Peso Líquido (kg)	3.058	2.920	2.959	2.875	2.896	14.708	2.942
Peso Seco (kg)	2.858	2.768	2.808	2.741	2.758	13.933	2.787
Área Trabalhada (ha)	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	4,30	0,86
Produtividade (kg ha⁻¹)	3.323	3.219	3.265	3.187	3.207	-	3.240
Taxa variável de fertilizante							
Repetição	1	2	3	4	5	Total	Média
Umidade Média (%)	17	16	16	16	16	-	16
Peso Líquido (kg)	2.878	2.940	3.024	2.981	3.021	14.844	2.969
Peso Seco (kg)	2.770	2.828	2.941	2.905	2.946	14.390	2.878
Área Trabalhada (ha)	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	4,30	0,86
Produtividade (kg ha⁻¹)	3.221	3.288	3.420	3.378	3.426	-	3.347

Os resultados demonstram que o tratamento TF apresentou uma produtividade média de 3.240 kg ha⁻¹, enquanto no tratamento TV foi de 3.347 kg ha⁻¹, ou seja, um rendimento 3,3% superior. De posse dos valores dos custos totais e da produtividade em cada um dos tratamentos foi possível calcular a lucratividade do cultivo da soja (Tabela 4).

Tabela 4 Resultados econômicos do cultivo da soja utilizando aplicação de fertilizantes em taxa fixa e variável.

Descrição	Taxa fixa de fertilizante	Taxa variável de fertilizante	Média
		R\$ ha ⁻¹	
Custo fixo	385,31	388,62	386,97
Custo variável	1093,50	1083,90	1088,70
Custo Total	1478,82	1472,53	1475,67
Receita	2883,60	2978,83	2931,22
Resultado	1404,78	1506,30	1455,54
TV-TF	101,52		

Ao se deduzir o custo total das receitas, chegou-se aos lucros de R\$1404,78 ha⁻¹ e de R\$1506,30 ha⁻¹, respectivamente, para os tratamentos TF e TV. A diferença entre os tratamentos foi de R\$101,52 ha⁻¹ (7,2%), sendo que a utilização do sistema de aplicação de fertilizante em taxa variável apresentou maior lucratividade.

6.3.1 Análise da viabilidade econômica

Considerando a diferença de lucratividade de R\$101,52 entre os tratamentos TF e TV, e o valor de aquisição do kit para realização da taxa variável (R\$12.300,00), determinou-se que são necessários 122 hectares em condições semelhantes as do experimento, para que se consiga pagar o investimento. Ao se considerar uma utilização média de 300 horas anuais, o que corresponderia a 900 hectares, o retorno do investimento se daria em menos de um ano (uma safra).

No entanto, se for considerada uma vida útil do kit de taxa variável de 4500 hectares (5 anos), restaria ainda 4378 hectares para serem semeados com o equipamento pago.

Neste sentido, torna-se importante o conhecimento de todos os fatores que envolvem o sistema produtivo, bem como a determinação dos custos que impactam direta ou indiretamente nos custos totais de produção. A partir desse ponto o agricultor poderá optar ou não por novas tecnologias e se estas são viáveis tanto do ponto de vista operacional, quanto econômico.

6.4 ESTUDO DE CASO II: Agricultura de precisão como uma ferramenta de gestão rural

O estudo foi conduzido por Cherubin (2012) em uma área agrícola de 118 ha da Fazenda Villa Morena pertencente ao “Grupo Schaedler”, localizada em Boa Vista das Missões – RS. A área é destinada à produção de grãos e tem sido manejada desde 2008 com ferramentas de AP (amostragem georreferenciada de solo, aplicações de insumos em taxa variável e mapeamento de produtividade). A empresa possui um detalhado banco de dados, com inputs diários de dados, descrevendo as operações realizadas, custos envolvidos e as receitas obtidas. Como base neste consistente banco de dados, o estudo objetivou utilizar a AP como uma ferramenta de gestão rural, gerando informações espacializadas capazes de auxiliar a tomada de decisão, frente à viabilidade técnica/econômica de práticas de manejo e investimentos a serem empregados na área. Para ilustrar a utilização das ferramentas da AP, a seguir é apresentada (passo a passo) a análise econômica do cultivo da soja na safra 2010/11.

6.4.1 Análise dos custos de produção

Os custos de produção são todos os valores financeiros desembolsados na produção e comercialização das culturas da soja na safra estudada. Os custos de produção foram divididos em: custos fixos, variáveis e totais.

I – Custos Fixos: refere-se aos custos que independem da quantidade produzida ou do trabalho desempenhado. Fizeram parte destes custos os seguintes fatores: mão de obra permanente (salário + comissões + *Fundo De Garantia do Tempo de Serviço – FGTS* + *Recolhimento ao Instituto Nacional do Seguro Social - INSS*); plano de saúde, despesas administrativas, consultorias agronômicas, alimentação, medicamentos, informática, energia elétrica, telefone, ferramentas, despesas com veículos (impostos, seguro, combustível, multas de trânsito, mecânica) despesas de armazenagem, Imposto Territorial Rural - ITR e os custos de comercialização (frete).

II – Custos Variáveis: refere-se aos custos que variaram em função da quantidade produzida ou trabalho realizado. Desta forma, foram consideradas como custo variável as seguintes variáveis: insumos utilizados na cultura (corretivo, semente, fertilizantes, defensivos) e combustíveis utilizados em todas as operações (semeadura, aplicações de corretivo, fertilizantes e defensivos, colheita, transporte). Cabe relembrar, que o corretivo e os fertilizantes, foram aplicados em taxa variável, ou seja, as quantidades e custos atribuídos aos mesmos foram variáveis dentro da área, respeitando a variabilidade química do solo, reportada por Cherubin et al. (2011a).

III – Custo total (CT): refere-se ao somatório de todos os custos fixos e variáveis envolvidas no cultivo da soja por unidade de área.

Um resumo dos custos de produção é apresentado na tabela 5 e a espacialização dos custos pode ser visualizada na figura 3. Conforme descrito acima, verifica-se que os custos fixos foram atribuídos de forma uniforme para toda a área. Por outro lado, os custos variáveis e totais apresentaram amplitude de R\$ 144,99 ha⁻¹, variando respectivamente, de R\$ 724,57 a R\$ 869,56 ha⁻¹, (média de R\$ 802,97 ha⁻¹) e de R\$ 1.167,29 a R\$ 1.312,28 ha⁻¹ (média de R\$ 1.170,78 ha⁻¹). Os dados apresentaram baixa dispersão (CV% 4,77) e seguiram distribuição de frequência normal.

Tabela 5 Estatística descritiva dos valores dos custos fixos, variáveis e totais atribuídos à cultura da soja, safra 2010/11.

Variáveis	Parâmetros Estatísticos					
	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
Custos Fixos	442,72	442,72	442,72	442,72	-	-
Custos Variáveis	724,57	802,97	797,91	869,56	38,31	4,77
Custos Totais	1.167,29	1.245,69	1.240,63	1.312,28	38,31	4,77

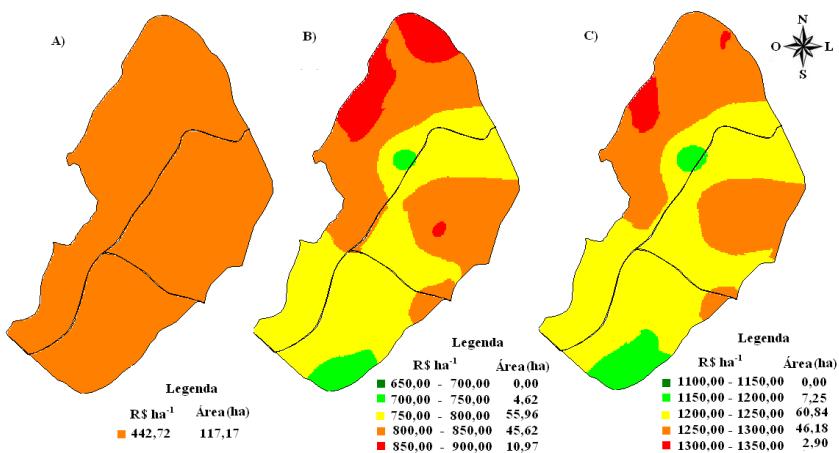


Figura 3 Espacialização dos custos fixos (A), custos variáveis (B) e custos totais (C) de produção da cultura da soja, safra 2010/11.

6.4.2 Receitas da produção

As receitas foram oriundas da comercialização da soja (grãos) produzida. A produtividade de grãos apresentou uma alta variabilidade na área, variando de 2.958 a 5.166 kg ha⁻¹ (média de 4.274 kg ha⁻¹) (Tabela 6; Figura 4A). Apesar da alta variação da produtividade na área, a média obtida na área de

estudo, foi considerada muito satisfatória, apresentando-se bem acima da média de produtividade do RS (2.845 kg ha^{-1}) e do Brasil (3.115 kg ha^{-1}) na safra 2010/11 (CONAB, 2015).

A receita bruta foi calculada considerando o valor de venda de R\$ 0,70 kg^{-1} ou R\$ 42,10 por saca de soja (60 kg) (preço base praticado na região de estudo). Deste valor, foram descontados R\$ 24,80 ha^{-1} , referente a impostos e contribuições sindicais realizadas, e, portanto, obtido o valor da receita líquida. Observaram-se variações na receita líquida de R\$ 2.050,75 a R\$ 3599,87 ha^{-1} (média de R\$ 2973,87 ha^{-1}) (Tabela 6; Figura 4B).

Tabela 6 Estatística descritiva dos valores de produtividade de grãos, receita bruta e receita líquida obtidas na cultura da soja, safra 2010/11.

Variáveis	Parâmetros Estatísticos					
	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
Produtividade	2.958,00	4.273,64	4.462,97	5.165,81	634,29	14,84
Receita Bruta	2.075,55	2.998,67	3.131,52	3.624,68	445,05	14,84
Receita Líquida	2.050,75	2.973,87	3.106,71	3.599,87	445,05	14,97

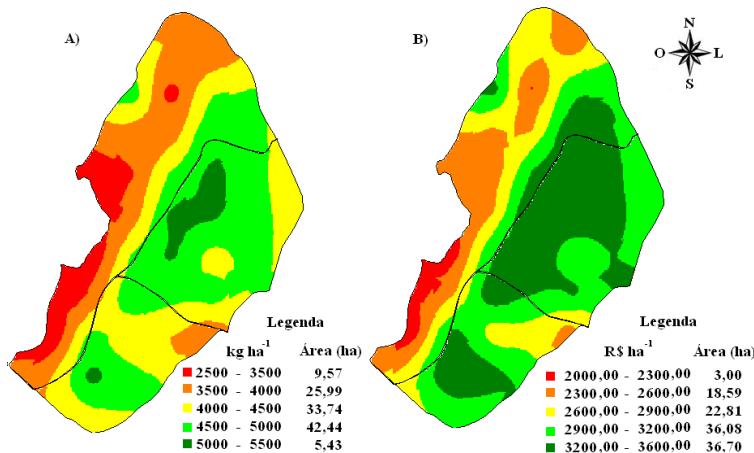


Figura 4 Espacialização dos valores de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) (A) e receita líquida ($\text{R\$ ha}^{-1}$) (B) da cultura da soja, safra 2010/11.

6.4.2 Resultados da produção

A análise dos resultados obtidos na cultura da soja foi realizada por meio de três indicadores de rentabilidade: ponto de equilíbrio, lucratividade líquida e índice de lucratividade líquida.

6.4.2.1 Ponto de equilíbrio

Ponto de equilíbrio é um indicador de rentabilidade, que representa o nível de produção cujo lucro é nulo, ou seja, representa o nível em que as receitas totais igualam os custos (e despesas) totais. A figura 5 apresenta os valores dos pontos de equilíbrio ($\text{kg de soja ha}^{-1}$) em cada ponto amostral da área estudada. Em paralelo, a linha tracejada representa o valor de $1.775 \text{ kg de soja ha}^{-1}$, ponto de equilíbrio em relação ao custo total médio da área. Observou-se que o ponto de equilíbrio variou de $1664 \text{ a } 1870 \text{ kg de soja ha}^{-1}$ nos diferentes locais da área. Desta forma, considerando que a produtividade mínima registrada na área foi de 2.958 kg ha^{-1} , verificou-se que em 100% da área a produção atingiu o ponto de equilíbrio, e consequentemente, o cultivo da soja foi uma atividade lucrativa ao produtor rural.

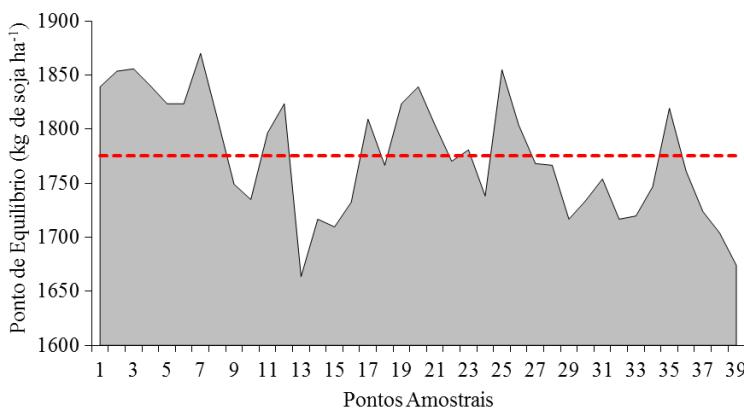


Figura 5 Ponto de equilíbrio, produtividade de soja em relação ao custo total nos diferentes locais (pontos amostrais) e em relação ao custo total médio na área de estudo, safra da soja 2010/11.

6.4.2.2 Lucro Líquido e Índice de Lucratividade

Lucro líquido refere-se à diferença entre a receita líquida e os custos totais por unidade de área. Já o índice de lucratividade demonstra a relação entre o lucro líquido e receita líquida em valores relativos (porcentagem). Os resultados demonstraram que sub-regiões com melhor desempenho apresentaram lucro líquido até 2.91 vezes maior que sub-regiões de pior desempenho. Os valores absolutos variaram de R\$ 820,07 a R\$ 2.390,33 ha^{-1} , com média de R\$ 1.728,18 ha^{-1} . Estes resultados corroboram com os resultados obtidos na análise do ponto de equilíbrio, demonstrando que realmente toda a

área estudada mostrou-se lucrativa, com altos índices de lucratividade líquida, variando de 39,99 a 59,72% (Tabela 7).

Tabela 7 Estatística descritiva dos valores dos indicadores de rentabilidade, lucro líquido (LL) e índice de lucratividade líquida (ILL) obtidos na cultura da soja, safra 2010/11.

Variáveis	Parâmetros Estatísticos					
	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
LL	820,07	1.728,18	1.827,17	2.390,33	459,48	26,59
ILL	39,99	57,03	59,72	66,40	7,60	13,33

Os mapas temáticos de lucratividade líquida e índice de lucratividade líquida são apresentados na figura 6, indicam claramente as distinções referentes ao lucro gerado ao produtor rural. Em geral, verificou-se que os piores resultados foram obtidos em uma faixa sentido sul-norte, na face oeste da área e os melhores resultados nas partes, central e sudeste da área (30,73 ha) onde o lucro líquido foi superior a R\$ 2.000,00 ha⁻¹.

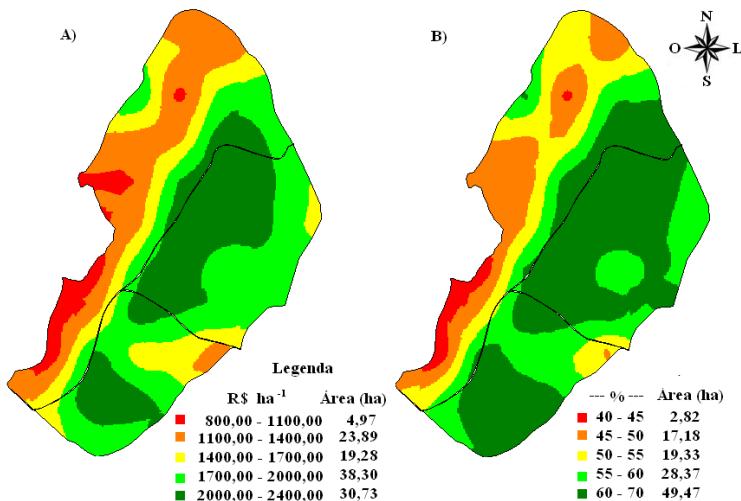


Figura 6 Espacialização dos valores de lucratividade líquida (R\$ ha⁻¹) (A) e índice de lucratividade líquida (%) da cultura da soja, safra 2010/11.

6.4.3 Estratégias de intervenções baseadas em análise econômica

O mapeamento dos custos de produção, receitas e resultados econômicos fornecem informações importantes para subsidiar futuras estratégias de manejo e investimentos na área. Indica-se a análise econômica de pelo menos 3-4 safras, incluindo diferentes culturas, para obter padrões

consistentes de variabilidade espacial da lucratividade da lavoura. Com base nisso, sub-regiões da lavoura (zonas) menos lucrativas devem ser manejadas diferentemente de sub-regiões mais lucrativas. Quando os fatores que afetam a produtividade das culturas e consequentemente a lucratividade da área são manejáveis (ex. acidez, baixa fertilidade, compactação...) estratégias de manejo podem ser empregadas, visando solucionar ou minimizar essas limitações. Entretanto, quando os fatores limitantes são inerentes ao solo ou relevo (ex. profundidade do solo, variações de textura, declividade, afloramento de rochas...), estratégias de manejo devem ser empregadas para ajustar os investimentos com as prováveis receitas. Algumas alternativas que poderiam ser adotadas nas zonas de baixo potencial de gerar lucros incluem: uso de cultivares/híbridos mais rústicos (menores custos com sementes, defensivos e fertilizantes); uso de culturas mais resistentes e de menor risco (ex. preferir soja em relação ao milho); mudança de uso do solo, substituindo cultivos de grandes culturas por silvicultura, fruticultura ou pecuária.

6.5 Considerações finais e perspectivas futuras

Atualmente, a agricultura do RS e brasileira apresenta sérios problemas gerenciais, especialmente nas regiões onde a propriedade rural não é entendida como uma empresa rural. Similar a qualquer outro ramo de negócio, a eficiência da agricultura passa necessariamente pelo detalhado controle dos custos de produção e das receitas geradas. Sem os devidos cuidados com essas informações torna-se impossível planejar investimentos de maneira racional. Com a inserção da AP, novas ferramentas de gerenciamento rural têm sido disponibilizadas aos produtores rurais. Esses estudos de caso demonstraram a grande potencialidade da AP para auxiliar na gestão de empreendimentos rurais, permitindo através de estudos da viabilidade econômica, bem como dos mapas temáticos, uma nova perspectiva de se analisar os custos de produção, receitas e resultados (lucros ou prejuízos). Diferentemente, de considerar apenas os resultados globais (médios) de uma área ou propriedade, se gerou lucros ou não, a espacialização das informações possibilita identificar quais foram os locais (sub-regiões) que efetivamente mais contribuíram para os resultados positivos ou negativos. A partir disso, estratégias de manejo alicerçadas em informações gerenciais poderão ser delineadas, visando aumentar a eficiência técnica/econômica do sistema de produção.

O aumento da competitividade de mercado tem promovido à profissionalização e a modernização da agricultura do RS e Brasil. Desta forma, não basta produzir mais, é necessário produzir de forma mais eficiente, ajustando os custos às receitas. Nas últimas décadas a agricultura tem experimentado avanços sem precedentes em termos agronômicos (cultivares/híbridos mais produtivos e resistentes a pragas e doenças; manejo da fertilidade considerando a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo,

uso pilotos automáticos/tráfego controlado, mapeamento da produtividade, irrigação...), entretanto, pouco se tem avançado em termos gerenciais. Desta forma, a gestão rural deve ser tratada como uma área prioritária, para garantir a sustentabilidade econômica da agricultura para os próximos anos.

Literatura citada

- AMADO, T. J. C.; BELLÉ, G. L.; DELLAMEA, R. B. C.; PES, L. Z.; FULBER, R.; PIZZUTI, L.; SCHENATO, R. B.; LEMAINSKI, C. L. Projeto Aquarius-Cotrijal: pólo de agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 91, p. 39-47, 2006.
- BERAS, G.J. **Análise da viabilidade econômica da semeadura de soja a taxa variável de fertilizante na linha**. 2014. 73 f. (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2014.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Séries históricas – Soja**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 10.11.2015.
- CHERUBIN, M. R. **Agricultura de precisão como estratégia de gestão rural: um estudo de caso em culturas anuais de verão – milho e soja**. 2012. 103 f. Monografia (Graduação em Administração) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2012.
- CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p. 196-210, 2011a.
- CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; MORAES, M. T.; AMARAL, A. Demonstração da viabilidade técnica e econômica da utilização de taxa variável em área manejada com agricultura de precisão. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p. 1-12, 2011b.
- MAINARDI, L. C. **Custos de produção na utilização de técnicas de agricultura de precisão na lavoura orzicola**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2015.
- WERNER, V. **Análise econômica e experiência comparativa entre agricultura de precisão e tradicional**. 2007. 134 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2007.

CAPÍTULO 7

Aplicação de nitrogênio em tempo real: modelos e aplicações

Christian Bredemeier¹, André Luis Vian², João Leonardo Fernandes Pires³

Resumo

A indicação de nitrogênio (N) para as culturas do trigo e milho são baseadas em análises de solo, onde não é considerada a variabilidade espacial existente desse nutriente na área. Dessa maneira, o fertilizante nitrogenado é distribuído de maneira uniforme em toda área, ou seja, é aplicada uma dose única de N estimada pela necessidade média da área. Porém, cada sub-área dentro da lavoura pode apresentar diferentes capacidades de suprimento de N e diferentes potenciais produtivos, necessitando doses de N diferenciadas para maximizar o rendimento de grãos de cada sub-área. Neste capítulo serão abordados os aspectos gerais sobre as necessidades nutricionais das culturas do trigo e do milho, juntamente com os parâmetros levados em consideração para se definição da aplicação de nitrogênio à taxa variável em cobertura. Também, serão abordadas algumas aplicações das ferramentas de sensoriamento remoto nestas culturas.

Palavras-chave: adubação nitrogenada, taxa variável, sensor de vegetação, agricultura de precisão.

Nitrogen application in real time: models and applications

Abstract

Nitrogen recommendation for wheat and maize are mainly based on soil analysis and the spatial variability of this nutrient is not taken into account when topdressing N is applied. In consequence, a single N rate is uniformly applied in the field, based on the average need of the whole area. On the other hand, different sites inside the field can present different N supply capacities as well as different yield potentials and nitrogen fertilizer should be applied site-specifically to maximize yield. In this chapter, we discuss general

¹ Professor Adjunto, Departamento de Plantas de Lavoura/UFRGS. Endereço: Av. Bento Gonçalves, 7712, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: bredemeier@ufrgs.br

² Mestre em Fitotecnia, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia/UFRGS, Departamento de Plantas de Lavoura/UFRGS. Endereço: Av. Bento Gonçalves, 7712, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: andreluisvian@hotmail.com.

³ Pesquisador da Embrapa Trigo. Endereço: Rodovia BR-285, Km 294, Passo Fundo, RS, Brasil. E-mail: joao.pires@embrapa.br

aspects related to nutritional needs in wheat and maize as well as the variables considered for topdressing N management and remote sensing applications in these crops.

Keywords: nitrogen fertilization, variable rate, canopy sensor, precision agriculture.

7.1 Importância do nitrogênio para as culturas

Os nutrientes com maior demanda pelas plantas de milho são o fósforo, o potássio e o nitrogênio (N), sendo o N o nutriente extraído em maior quantidade pela cultura (Silva *et al.*, 2005). Estudos mostram que, para cada tonelada de grãos produzidos, a cultura do milho acumula, aproximadamente, 28 kg ha⁻¹ de N na parte aérea e exporta nos grãos em torno de 60% deste valor, ou seja, 17 kg ha⁻¹ de N (Weligama *et al.*, 2010). O N é nutriente fundamental para as plantas, pois é constituinte de paredes celulares, proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas, alcalóides, hormônios e clorofila (Marschner & Marschner, 2012).

As características apresentadas pelas plantas quando ocorre baixa disponibilidade de N no sistema, provocando sua deficiência na planta, são a redução da atividade metabólica, clorose e amarelecimento das folhas mais velhas da planta, resultando em redução na taxa fotossintética. Em consequência, ocorre redução do tamanho das folhas, do teor de proteína nos grãos e do potencial produtivo da cultura (Huang *et al.*, 2007; Bissani *et al.*, 2008; Saiz-Fernández *et al.*, 2015).

O N tem relação direta com o crescimento e o desenvolvimento das plantas, uma vez que este nutriente desempenha funções bioquímicas e fisiológicas importantes no metabolismo vegetal. O efeito desta relação é influenciado pelas formas nas quais o N está disponível no solo (amônio - NH₄⁺ ou nitrato - NO₃⁻). Essa variação na absorção sofre influência das condições meteorológicas e de solo (temperatura, pH do solo, umidade, tipo de solo e atividade microbiana), as quais influenciam a mineralização da matéria orgânica para NH₄⁺ e, posteriormente, a nitrificação para NO₃⁻ (Dharmakeerthi *et al.*, 2006; Zhu *et al.*, 2015). Contudo, a eficiência na absorção destas formas minerais é baixa, sendo que a absorção do N aplicado varia entre 50 a 60% do total disponibilizado pela adubação (Zhu *et al.*, 2009; Saiz-Fernández *et al.*, 2015).

Apesar da importância fisiológica do N, em regiões tropicais e subtropicais, devido ao grande número de reações que o N sofre no ambiente e à sua elevada mobilidade no solo e na planta, o N é um dos nutrientes mais difíceis de serem manejados eficientemente na agricultura (Amaral *et al.*, 2015). Devido a isso, a adubação nitrogenada necessita ser manejada da maneira mais eficiente possível, pela utilização de doses condizentes com as reais necessidades da planta, pelo uso de fontes adequadas deste nutriente, pela aplicação nos estádios de desenvolvimento das plantas com maior necessidade ou maior resposta ao fertilizante (definição do potencial produtivo) e no local

correto, podendo ser variada a quantidade de fertilizante nitrogenado ofertado para as plantas de acordo com sua necessidade (adubação em dose variada) (Fixen, 2010).

A definição do potencial produtivo das culturas ocorre durante a fase inicial de desenvolvimento das mesmas. Na cultura do milho, os estádios iniciais (entre os estádios V4 e V10), são os determinantes para a definição do potencial produtivo, pois nestes estádios ocorrem processos fisiológicos importantes na planta, como a diferenciação do pendão e da espiga, juntamente com a diferenciação do número de óvulos na espiga. Por isso, o suprimento adequado de N para a planta nestes estádios é de fundamental importância para o desenvolvimento e para definição do potencial produtivo (Saiz-Fernández *et al.*, 2015).

Nos cereais de inverno, como por exemplo, as culturas do trigo e cevada, vários trabalhos definiram a emissão da sexta folha do colmo principal como o momento crítico para a concretização do potencial de rendimento e para a aplicação de N em cobertura (Bredemeier & Mundstock, 2001; Wamser & Mundstock, 2007). O suprimento de N em cobertura nessas culturas é importante na maioria das regiões produtivas, pois a planta inicia a definição do potencial produtivo, como o número de afilhos a serem emitidos, sendo o N importante para a manutenção da sincronia de desenvolvimento entre colmo principal e afilhos. Ao final do afilhamento, as plantas absorvem cerca de um terço do N que será utilizado durante todo o seu ciclo.

Para garantir a eficiência do N aplicado no momento de maior demanda pelas culturas, busca-se, além de condições meteorológicas adequadas no momento da aplicação na lavoura, a aplicação de doses condizentes com as reais necessidades da cultura, por meio do uso de ferramentas que permitam a identificação da variabilidade nutricional nas plantas, quantificação dos teores de clorofila e biomassa e aplicação em tempo real das demandas de N, sendo este um desafio no manejo deste nutriente (Bredemeier, 1999).

7.2 Agricultura de precisão (AP) e aplicação de insumos à taxa variável

A busca por maiores rendimentos de grãos gera a necessidade de aprimorar e desenvolver práticas de manejo mais eficientes. A implantação do sistema de plantio direto (SPD), a inserção de cultivares geneticamente melhoradas, a maior eficiência no uso de insumos e o aprimoramento das máquinas, permitiram incrementos no potencial produtivo das culturas. Entretanto, a agricultura tradicionalmente realizada possui entendimento que uma área agrícola apresenta comportamento homogêneo, sendo seu manejo realizado em função da necessidade média para a aplicação dos insumos (fertilizantes na semeadura e nas aplicações em cobertura, defensivos agrícolas, água, calcário), fazendo com que a mesma formulação e/ou quantidade do insumo seja utilizada em toda a área, desconsiderando as necessidades

específicas de cada parte da lavoura, ou das zonas de manejo, causando e aumentando a variabilidade de rendimento de grãos na área (Pierce & Nowak, 1999; McBratney *et al.*, 2005).

Diante deste cenário, na tentativa de manejar essa variabilidade e aumentar a eficiência na aplicação de insumos, surgiu a agricultura de precisão (AP), com a finalidade de conhecer e estudar a variabilidade da lavoura e gerenciá-la, ou seja, aumentar a coleta de informações da área, proporcionando maior precisão na tomada de decisão sobre as intervenções realizadas. Com estas ferramentas tecnológicas, foi intensificado o levantamento e coleta de dados das áreas produtivas, permitindo o conhecimento da variabilidade existente do tipo de solo, de fertilidade, de diferentes potenciais produtivos e demais fatores que influenciam a produção, usando métodos adequados e diferenciados para o manejo destes (Larson & Robert, 1991; Salviano *et al.*, 1998; Silva *et al.*, 2003). Um dos principais conceitos da AP pode ser explicado como a aplicação de insumos no local correto, nas quantidades necessárias e nos momentos adequados, em áreas cada vez menores e mais homogêneas, ou seja, em sítios específicos (Sawyer, 1994; Pierce & Sadler, 1997).

Dentre as ferramentas utilizadas, destacam-se as que utilizam o sensoriamento remoto para estimativa do potencial produtivo das culturas e realização de aplicações de fertilizantes nitrogenados à taxa variável. Dessa forma, é possível estimar o estado nutricional das plantas durante o ciclo de desenvolvimento e realizar a aplicação e a variação das quantidades aplicadas de N em tempo real, possibilitando maior eficiência do uso do fertilizante e aumento do potencial produtivo das culturas (Wei *et al.*, 2008; Schmidt *et al.*, 2011).

7.3 Sensores de vegetação como ferramentas para manejo da adubação nitrogenada

As leituras realizadas por meio de sensores de vegetação em tempo real permitem maior agilidade no processo de tomada de decisão em relação a práticas de manejo durante o ciclo da cultura, permitindo a identificação e a correção de deficiências nutricionais causadas pelo N (Raun *et al.*, 2002; Kitchen *et al.*, 2010; Amaral & Molin, 2011; Lofton *et al.*, 2012).

As leituras em tempo real foram adaptadas ao uso agrícola para serem realizadas a campo por meio de sensores de vegetação, os quais são montados em tratores ou em distribuidores a lança auto-propelidos. Atualmente, encontra-se no mercado uma série de sensores de vegetação, tais como Greenseeker®, N-Sensor® e Crop Circle®. O emprego desses sensores apresenta a mesma finalidade, ou seja, a quantificação de um índice de vegetação específico para cada sensor para estimativa da dose de N em cobertura a ser aplicada em uma determinada cultura (Feng *et al.*, 2008; Schmidt *et al.*, 2009; Erdle *et al.*, 2011).

7.3.1 Sensor óptico ativo (**Greenseeker®**)

Um dos sensores de vegetação atualmente utilizado é o Greenseeker, o qual foi desenvolvido pela Universidade de Oklahoma (EUA) na década de 1990. O seu princípio de funcionamento é por diodos de emissão de radiação na faixa do vermelho (680 nm) e do infravermelho próximo (770 nm). A radiação emitida é refletida pelo dossel da cultura e medida por um fotodiodo localizado no equipamento. Os dados são calculados por um microprocessador interno, fornecendo o valor do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (NTech Industries, 2013).

O NDVI é quantificado pela seguinte relação $(p_{\text{IVP}} - p_v) / (p_{\text{IVP}} + p_v)$, onde p_{IVP} e p_v se referem à reflectância do infravermelho próximo e vermelho, respectivamente. Este índice apresenta variação numérica de -1 a +1, sendo os valores positivos referentes ao vigor vegetativo da cultura, enquanto que os valores negativos indicam presença de água ou ausência de vegetação (Rouse *et al.*, 1973; Liu *et al.*, 2006).

O princípio do sensor baseia-se nas bandas de absorção da radiação visível pelas plantas, que estão situadas principalmente próximas a 480 nm e 680 nm, relacionadas à presença de clorofila. O comprimento de onda entre 700 nm e 1300 nm representa o infravermelho próximo, onde ocorre alta reflectância pela vegetação, chegando a 50% da radiação incidente (Figura 1). Esta reflectância sofre influência da estrutura celular interna da folha, tamanho e formato da célula e ocorrência de espaços intercelulares (Shanahan *et al.*, 2008; Amaral & Molin, 2011). Deste modo, as faixas do espectro eletromagnético do visível (480 - 680 nm) e do infravermelho próximo (700 - 1300 nm) foram definidas como indicadoras de deficiências nutricionais e estresses nas plantas, por apresentarem relação com a condição do dossel vegetativo (Carter & Knappa, 2001; Molin, 2001). A correlação existente entre a reflectância na faixa de 680 nm e a concentração de clorofila nas folhas, assim como entre a reflectância na região do infravermelho próximo e a quantidade de biomassa presente no dossel, é determinante na estimativa do estado nutricional de uma planta ou cultura, o qual se relaciona com a concentração de clorofila e a produção de biomassa de uma comunidade vegetal (Carter & Knappa, 2001; Baker, 2008; Solari *et al.*, 2008).

A utilização do sensor óptico ativo Greenseeker na estimativa da condição nutricional das culturas é influenciada pelas diferentes interações solo-planta. Em condições de lavouras, existe a variabilidade espacial de variáveis de planta e solo, resultando em diferentes respostas na reflectância, que podem não estar associadas apenas ao estado nutricional da planta, mas também ser decorrentes de outros estresses bióticos e/ou abióticos. Desta maneira, as avaliações frequentes do estado nutricional da cultura podem auxiliar no manejo da adubação nitrogenada durante seu ciclo, pois o teor de clorofila nas folhas de milho se relaciona com a concentração de N nas mesmas e, devido às interações

com os fatores bióticos e abióticos, promovem variação na atividade fotossintética das plantas e no potencial produtivo (Guimarães *et al.*, 1999).

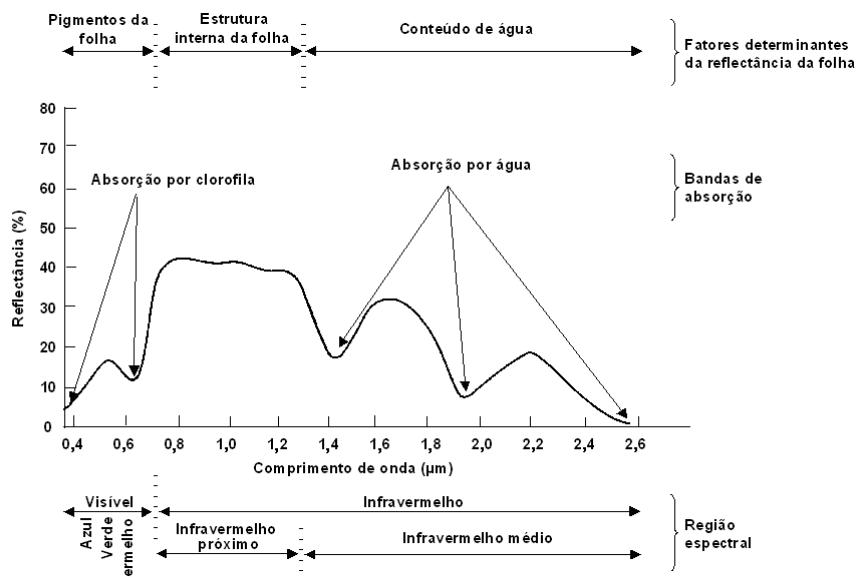


Figura 1 Curva típica de reflectância da vegetação. Fonte: Rizzi, (2004).

As medições realizadas no dossel vegetativo da cultura durante seu desenvolvimento, como o NDVI (Figura 2), tem potencial para melhorar o rendimento e a qualidade de grãos, por meio da aplicação localizada de fertilizantes nitrogenados à taxa variável. Os principais fatores que determinam uma adequada avaliação da condição nutricional são a área foliar, a biomassa total e os teores de clorofila e N na massa seca da cultura. As variações espaciais e temporais destas variáveis devem ser determinadas, de modo que a quantidade de N aplicada corresponda às reais exigências da cultura tanto quanto possível (Hansen & Schjoerring, 2003).

O NDVI é um índice agronômico eficiente visando detectar deficiências nutricionais nas plantas. Alguns estudos alertam sobre a necessidade de se determinar a melhor estratégia para indicação de adubações nitrogenadas a partir dessas leituras (Molin *et al.*, 2010; Portz, 2011; Portz *et al.*, 2011). Como maneira de validar a metodologia de estimativa da condição nutricional das plantas, estudos realizados mostraram alta relação entre NDVI e N acumulado na biomassa de cultivares de trigo e cevada (Serrano *et al.*, 2000; Grohs *et al.*, 2009). Também, foram encontradas altas correlações entre NDVI e produtividade de colmos de cana-de-açúcar (Molin *et al.*, 2010; Lofton *et al.*, 2012). Na cultura do milho, foi reportada alta correlação entre os valores de NDVI

e a produção de biomassa da parte aérea e o rendimento de grãos (Freeman *et al.*, 2007; Martin *et al.*, 2012).



Figura 2 Leituras para a obtenção do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) com o sensor óptico Greenseeker no estádio fenológico V7 da cultura do milho.

7.4 Principais resultados de pesquisa: avanços e aplicações

7.4.1 Sensor de vegetação para estimativa do potencial produtivo no milho em função da época de dessecação da cultura antecessora

A indicação da dose total de N a ser aplicada na cultura do milho é determinada em função de três fatores principais: o teor de matéria orgânica do solo, a cultura antecessora e a expectativa de rendimento de grãos (Reunião, 2013). Contudo, o uso dos dois primeiros indicadores para estimar a quantidade de N suprida pelo solo e pelos resíduos da cultura antecessora é pouco eficiente, uma vez que inúmeros fatores meteorológicos e de solo estão envolvidos no processo de mineralização do N orgânico (Poletto, 2004). Também, a definição da “expectativa de rendimento de grãos” é complexa, pois o potencial produtivo varia em função das condições meteorológicas de cada ano específico e a probabilidade da “expectativa de rendimento” não se concretizar é elevada. Com a existência de variabilidade espacial e temporal destes indicadores em áreas agrícolas, geralmente opta-se por aplicar maiores doses de N em cobertura para garantir elevados rendimentos de grãos (Poletto, 2004), sem levar em consideração o potencial produtivo da cultura e sua variabilidade espacial na área.

A disponibilidade de N pode ser influenciada, entre outros fatores, pelo manejo da dessecação da cultura antecessora, que, por ter a decomposição da palhada antecipada, pode interferir no desenvolvimento da cultura do milho implantado em sucessão (Cunha *et al.*, 2011; Ricci *et al.*, 2011). Desta maneira, é importante o uso de ferramentas que estimem o potencial produtivo da lavoura

in situ de maneira precisa e rápida e em tempo real, visando aperfeiçoar a aplicação de N em cobertura.

Com a proposta de avaliar a relação entre o NDVI e o rendimento de grãos de milho, visando ao desenvolvimento de procedimentos mais precisos para a adubação nitrogenada em cobertura à taxa variável na cultura do milho, foram utilizadas diferentes épocas de dessecação da aveia branca na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul (RS). Os tratamentos consistiram de diferentes épocas de dessecação da aveia branca (*Avena sativa L.*) antes da semeadura da cultura do milho (45, 30, 15 e 0 dias antes da semeadura), além dos tratamentos com aveia branca dessecada 30 dias antes da semeadura sem aplicação de N na cultura do milho implantado em sucessão e pousio (manejo durante o inverno sem a presença de qualquer tipo de cobertura vegetal).

Como a cultura antecessora foi manejada com diferentes épocas de dessecação antes da semeadura da cultura do milho, foi observado que essa variação promoveu variação na disponibilidade de N no solo, em função das diferentes épocas de dessecação. Esse efeito resultou em variabilidade no desenvolvimento das plantas entre os diferentes tratamentos, permitindo o estudo da relação entre as metodologias utilizadas no presente trabalho.

A variação no desenvolvimento das plantas foi influenciada pelas diferentes épocas de dessecação da aveia branca em pré-semeadura, promovendo diferentes épocas de liberação do N de seus tecidos para o solo, onde o mesmo pode ter sido imobilizado e disponibilizado para a cultura do milho em diferentes períodos de seu desenvolvimento (Lourente *et al.* 2007; Fontoura & Bayer, 2009; Santos *et al.*, 2013).

Essa variação no rendimento de grãos da cultura também é atrelada à adubação nitrogenada aplicada, a qual foi parcelada nos estádios V4 e V7, pois durante os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura ocorrem importantes processos fisiológicos nas plantas, como a diferenciação do pendão e da espiga e a definição do número de óvulos na espiga. Por isso, nestes estádios o suprimento adequado de N para a planta é de fundamental importância para a definição do potencial produtivo (Saiz-Fernández *et al.*, 2015).

O coeficiente de determinação da relação entre o NDVI e o rendimento de grãos foi elevado, apresentando ajuste linear entre esta duas variáveis ($R^2=0,56$) (Figura 3).

7.4.2 Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada utilizando sensor de vegetação

Neste trabalho, os autores basearam-se em 30 ensaios, conduzidos ao longo de seis anos, para o desenvolvimento e validação do algoritmo de indicação de doses de N. No Brasil, já existem alguns estudos com a utilização

deste sensor em culturas de inverno (Povh *et al.*, 2007). Estes trabalhos, porém, ainda não geraram informações suficientes que permitam aplicações a campo de maneira prática. O trabalho propõe um modelo para estimar classes de potencial produtivo a partir de leituras de NDVI relacionadas à biomassa acumulada na parte aérea, visando estabelecer critérios para futuros trabalhos de adubação nitrogenada à taxa variável, por ocasião da emissão da sexta folha do colmo principal em cereais de inverno. A construção do modelo para estimativa de classes de potencial produtivo partiu do ajuste de curvas de regressão para a relação entre o NDVI e a biomassa da parte aérea para diferentes cultivares, em duas restevas (milho e soja), sendo escolhido o modelo que apresentava significância ao teste F a 5% e maior coeficiente de determinação (R^2).

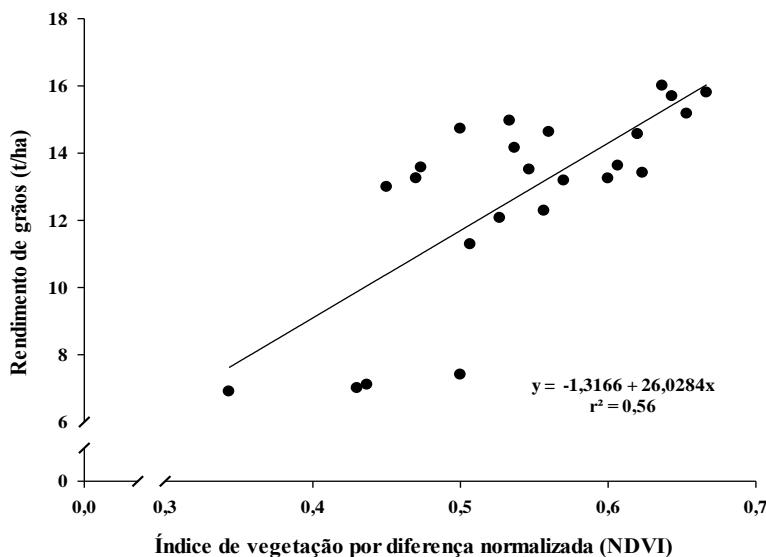


Figura 3 Relação entre o Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) no estádio fenológico V7 e o rendimento de grãos da cultura do milho.

A formação do modelo proposto considera o NDVI como variável dependente da biomassa da parte aérea, pois há a necessidade de conhecer-se a máxima variabilidade do NDVI em função da máxima variabilidade da biomassa. Esta linha de condução também foi aplicada por Phillips *et al.* (2004) em trigo, que avaliaram o número de afilhos por área a partir do uso de fotografia multiespectral aérea.

O método aplicado neste trabalho se diferencia dos tradicionais modelos de sensoriamento remoto, em que as equações de estimativa de crescimento

das culturas são dadas em função da variação do NDVI ao longo do ciclo de desenvolvimento das plantas (Liu, 2006). Outro diferencial é a criação de classes de NDVI a fim de estimar diferentes níveis de potencial produtivo, sendo estas representadas pela biomassa acumulada na parte aérea, ao contrário dos métodos tradicionais, em que se estima a variável de interesse a partir de valores de NDVI. Assim, no método proposto são aplicados indicadores práticos, gerados para avaliação a campo, da condição nutricional da planta e baseados em zonas críticas, onde não há predição de valores absolutos.

Para isso, foram definidos quatro valores críticos de NDVI: mínimo, baixo, médio e máximo. Cada um destes valores foi indicador de um valor crítico de biomassa da parte aérea correspondente. O conjunto de observações entre os valores críticos de NDVI e biomassa corresponderam a uma classe de potencial produtivo (baixo, médio, alto e muito alto). Os valores críticos e as classes de potencial produtivo estão representados esquematicamente na Figura 4 e descritos imediatamente abaixo.

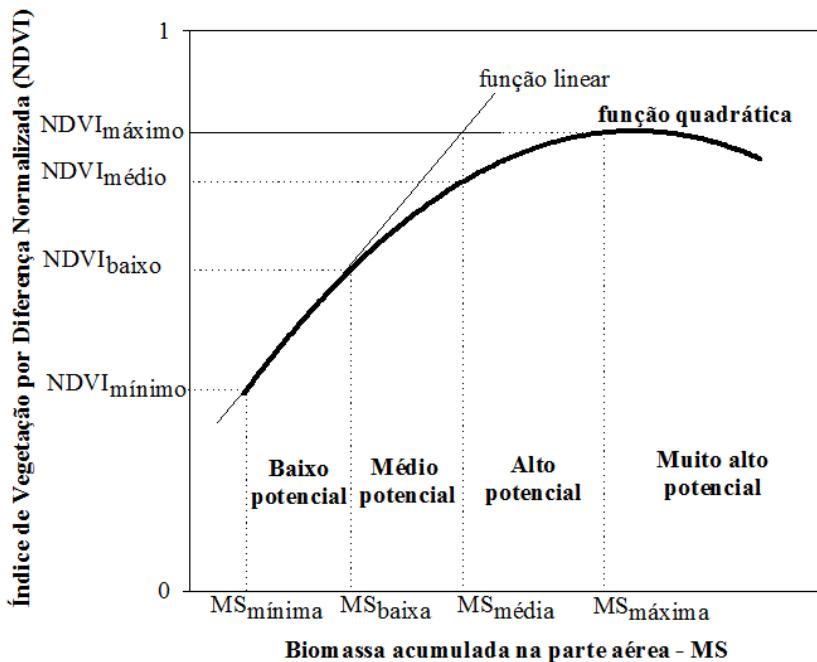


Figura 4 Modelo teórico desenvolvido para determinação dos valores críticos de NDVI e biomassa acumulada na parte aérea e para estimativa das classes de potencial produtivo.

NDVI_{mínimo}: corresponde ao NDVI referente ao valor mínimo de biomassa obtido, não considerando eventuais valores atípicos. Representa o ponto inicial da classe baixo potencial produtivo.

NDVI_{baixo}: valor máximo de NDVI no qual a função linear perde seu sentido de crescimento, iniciando o sentido quadrático da relação. Representa o valor limite de NDVI entre as classes baixo e médio potencial produtivo.

NDVI_{médio}: valor determinado pela projeção da intersecção entre a reta definida pelo NDVI_{máximo} e a reta da função linear sobre a função quadrática. Representa o valor limite entre as classes médio e alto potencial produtivo.

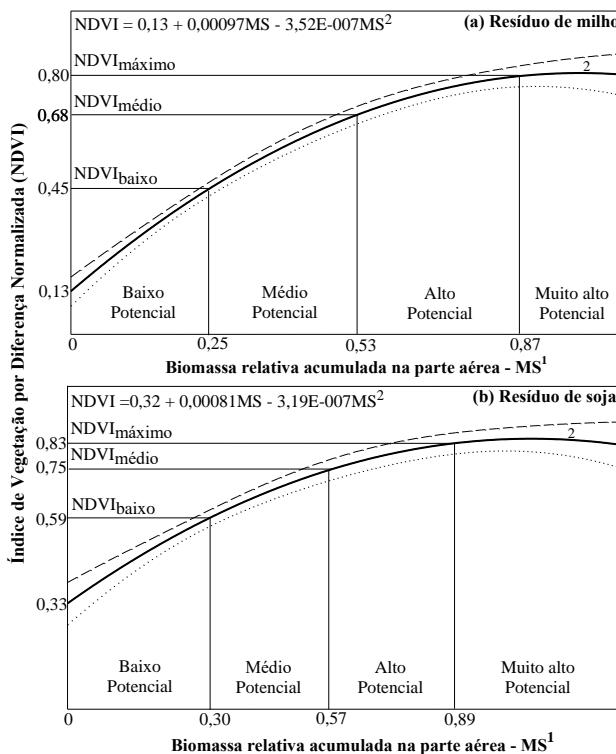
NDVI_{máximo}: primeiro valor de NDVI no qual a regressão inicia seu patamar de valores constantes (inclinação igual a zero). Representa o valor limite entre as classes alto e muito alto potencial produtivo.

Em relação às cultivares, avaliou-se os valores críticos do NDVI (e sua correspondente biomassa da parte aérea) para cada cultivar, em cada classe de potencial produtivo, sendo os valores plotados em gráfico e ajustada uma regressão quadrática (Figura 5). O aumento do NDVI em função do incremento da biomassa ao longo dos valores críticos sobrepuja-se às diferenças entre cultivares, tanto sobre resteva de milho como de soja (Figura 5).

Portanto, a diferença de valores de reflectância entre cultivares para uma mesma classe de potencial produtivo não é relevante o suficiente para modificar a estimativa de seu potencial produtivo, negando-se a pressuposição inicial da necessidade de realizar ajustes para cada grupo de cultivares. Este fato prova a validade da utilização do sensor *GreenSeeker* em diferentes cultivares, mesmo que estas apresentem diferentes características agronômicas. A mesma conclusão foi obtida por Raun *et al.* (2005), que determinaram que o incremento do potencial produtivo (estimado a partir da leitura do NDVI no momento das aplicações de nitrogênio) era maior que a variabilidade entre os ensaios em uma mesma leitura.

Os modelos “subestimado” e “superestimado” foram determinados por meio das curvas geradas pelo intervalo de confiança a 95% do modelo normal (Figura 5). A finalidade destes dois modelos foi permitir o uso do sensor em lavouras que não apresentem condições de variabilidade semelhantes ao empregado neste experimento. Por exemplo, o modelo superestimado pode ser adequado para lavouras amostradas em estádio de desenvolvimento posterior à emissão da sexta folha, quando apresentam menor variabilidade de biomassa. Já o modelo subestimado pode ser adequado para lavouras amostradas antes do momento ideal, quando a variabilidade da biomassa é máxima. Estes princípios foram considerados por Girma *et al.* (2006), que propuseram o uso do sensor *GreenSeeker* nos momentos de pré e pós-período indicado para aplicação de N em cobertura. Os autores relacionaram as leituras em diferentes

épocas com o rendimento de grãos, a fim de corrigir o uso do sensor em momentos diferentes do indicado.



¹ Refere-se a divisão de cada observação pela máxima biomassa obtida no experimento.

² A regressão polinomial e o seu intervalo de confiança correspondem aos seguintes modelos:

— Superestimado — Normal Subestimado

Figura 5 Modelo para estimativa do potencial produtivo de trigo e cevada pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) por ocasião da emissão da sexta folha, sobre resteva de milho (a) e soja (b).

Nos modelos normal, sub e superestimado, evidencia-se uma região onde ocorre as maiores diferenças entre os valores críticos de NDVI para as restevas de milho e soja. Os valores de NDVI na classe baixo potencial (mínima presença de plantas na área), para o modelo normal, sub e superestimado, são, respectivamente, 0,13, 0,10 e 0,19 sobre resteva de milho e 0,33, 0,27 e 0,39 sobre resteva de soja (Figura 5). Desta forma, existe um confundimento no que se refere à mínima presença de plantas, que poderá ser sobreposta pelo efeito dos elementos da superfície de fundo. A mesma situação foi encontrada por

Flowers *et al.* (2003) em trigo, que obtiveram elevada variabilidade da reflectância do dossel sob condições de baixa presença de plantas em um modelo para predição do número de afilhos. Como alternativa para correção desta limitação, Jorgensen & Jorgensen (2007) sugerem que, quando forem constatados valores baixos de NDVI, seja procedida a confirmação visual de sua causa.

O modelo desenvolvido neste trabalho mostra que, qualquer que seja a causa de baixos valores de NDVI (baixa densidade de plantas ou a presença de resíduos vegetais), o potencial produtivo sempre será baixo. O modelo proposto tem como principal característica a simplicidade de uso, quando por ocasião da utilização do sensor a campo. Para qualquer medida de NDVI obtida na lavoura, esta poderá ser comparada segundo as classes de potencial produtivo do modelo para a resteva em questão e, rapidamente, o operador terá a informação sobre a condição nutricional das plantas em cada área percorrida em uma lavoura.

O uso de classes foi a principal inovação na formulação do modelo proposto para estimativa do potencial produtivo em cereais de inverno na emissão da sexta folha do colmo principal. Ele mostra-se vantajoso, pois é uma metodologia que estabelece zonas de manejo de maneira rápida e expedita, a partir de uma única leitura de NDVI com o sensor *GreenSeeker*. Outra inovação é a possibilidade de isolamento do efeito da espécie (trigo ou cevada) e das cultivares dentro destas, permitindo o uso do sensor ao longo dos anos sem correções para estes fatores. Entre os valores extremos de uma mesma classe de potencial produtivo, ocorrem diferenças entre cultivares, porém, em uma classe superior, estas diferenças são sobrepostas pelo aumento do potencial produtivo.

O possível efeito dos elementos que constituem a superfície de fundo sobre as leituras de NDVI não foi considerado neste trabalho. Desta forma, o modelo gerado deverá, em um primeiro momento, ser aplicado apenas nas restevas de milho e soja, individualmente. Os modelos sub e superestimado são uma proposta para avaliar a capacidade de ajuste do modelo, quando aplicado em situações fora da época recomendada para o modelo normal. Porém, a validação destes modelos, assim como do modelo normal, deverá ser executada em condições de lavoura.

O estudo da relação das zonas de potencial produtivo com doses de N e rendimento de grãos é a próxima etapa deste trabalho. Com o uso de análises de variabilidade espacial, será possível avaliar se zonas de potencial produtivo estimadas pelas classes de NDVI, propostas pelo presente modelo, corresponderão à flutuação espacial da biomassa da parte aérea, doses de N aplicadas e rendimento de grãos.

7.4.3 Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor de vegetação para adubação nitrogenada a taxa variável

Os indicadores para estimar a quantidade de N suprida pelo solo é pouco eficiente, uma vez que muitos fatores estão envolvidos no processo de mineralização do N orgânico (Drury *et al.*, 2003; Poletto, 2004). Também, a definição da “expectativa de rendimento” é complexa, pois o potencial produtivo varia em função das condições meteorológicas de cada ano específico e a probabilidade da “expectativa de rendimento” não se concretizar é elevada. Com a existência de variabilidade espacial e temporal destes indicadores em áreas agrícolas, geralmente opta-se por aplicar maiores doses de N em cobertura para garantir elevados rendimentos (Poletto, 2004), sem levar em consideração o potencial produtivo e sua variabilidade espacial na área. Em consequência, as reais necessidades da planta não são supridas em muitas situações, levando à aplicação de doses de N acima ou abaixo da exigida. Desta maneira, é importante o uso de ferramentas que estimem o potencial produtivo da lavoura *in situ* de maneira precisa e rápida, em tempo real, visando aperfeiçoar a aplicação de N e permitir a aplicação deste nutriente à taxa variável.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre o NDVI em diferentes estádios do desenvolvimento e o rendimento de grãos de quatro cultivares de trigo, visando desenvolver procedimentos precisos para a adubação nitrogenada em cobertura. O modelo foi desenvolvido utilizando-se quatro cultivares de trigo (Abalone, Marfim, Quartzo e Fundacep Raízes), quatro níveis de N aplicados na emergência das plantas (0, 20, 40 e 60 kg ha⁻¹ de N) e cinco níveis de N aplicados em cobertura (0, 20, 40, 60 e 80 kg ha⁻¹ de N), na forma de ureia, no estádio de seis folhas completamente expandidas no colmo principal.

Para cada cultivar, modelou-se o rendimento de grãos em função do NDVI pelo ajuste de modelos linear ($y=a+bx$) ou quadrático ($y=a+bx+cx^2$). Os critérios utilizados para escolher o modelo mais adequado foram sua significância pelo teste F ($P=0,05$). Os valores do NDVI foram relacionados com o rendimento de grãos para cada cultivar estudada (Figura 6). As regressões ajustadas foram lineares para os estádios de quatro a cinco e seis a sete folhas expandidas (Figura 6.a e 6.b). Já no emborragamento e florescimento, as regressões foram quadráticas (Figura 6.c e 6.d). Adicionalmente, ajustou-se um modelo único para as quatro cultivares testadas neste trabalho.

Os coeficientes de determinação na primeira avaliação (Figura 6.a) foram significativos para todas as cultivares e variaram entre $r^2=0,61$ (cv. Quartzo) e $r^2=0,94$ (cv. Marfim) (Figura 6.a). Apesar de ser ainda cedo no ciclo da cultura para estimar o potencial produtivo em uma determinada área, o NDVI foi eficiente em quantificar diferenças entre o desenvolvimento das plantas frente às diferentes disponibilidades de N, as quais resultaram em diferentes produtividades ao final do ciclo.

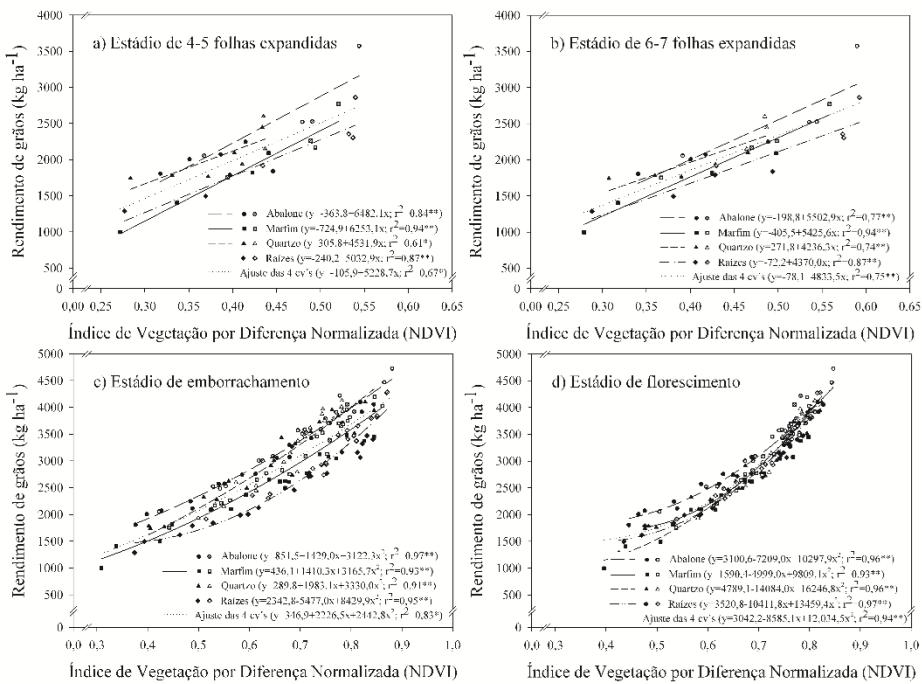


Figura 6 Relação entre rendimento de grãos e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) avaliado em diferentes estádios de desenvolvimento, para quatro cultivares de trigo após milho (símbolos cheios) e após soja (símbolos vazados). Fonte: EEA/UFRGS, 2013.

À medida que ocorreu o desenvolvimento da cultura, as correlações entre rendimento de grãos e NDVI aumentam, pois, a superfície de fundo (solo e resíduos vegetais) apresentam menor efeito sobre as leituras do NDVI (Dalmolin *et al.*, 2005) e a quantidade de biomassa da parte aérea passa a ser o fator preponderante que determina a magnitude deste índice (Grohs *et al.*, 2007). No florescimento, o coeficiente de determinação para o ajuste das quatro cultivares, foi de 0,94 (Figura 6.d).

Os maiores valores de NDVI se relacionaram a maiores rendimentos de grãos na colheita (Figura 6). Esta relação também foi encontrada por Povh *et al.* (2007), que, trabalhando com adubação à taxa variável em trigo, encontraram valores de NDVI mais elevados em áreas que tinham recebido maior dose de N e apresentaram maior potencial produtivo. Neste caso, o maior potencial produtivo foi proporcionado pela maior disponibilidade de N e maior acúmulo de biomassa e sobrevivência dos afilhos. Grohs *et al.* (2007), trabalhando com o sensor Greenseeker em cevada, encontraram alta correlação entre o NDVI

avaliado no estádio de seis folhas expandidas, o número de colmos por área e a biomassa da parte aérea.

Uma vez quantificados os valores de NDVI no estádio de seis folhas, se pode realizar adubação com N à taxa variável segundo o potencial produtivo estimado de cada local dentro da lavoura (Milani *et al.*, 2006). Assim, quanto melhor for o estado nutricional da cultura no momento de aplicação de N em cobertura, maior é o potencial produtivo e menor será a resposta à aplicação de nitrogênio (Welsh *et al.*, 2003).

Esta forma de se manejar o nitrogênio leva à redução na aplicação deste nutriente em locais onde o potencial produtivo é alto, nos quais as plantas estão bem supridas e não haveria resposta a altas doses de N aplicadas, porém sem comprometer o rendimento de grãos. Segundo Lamothe (1994), quando quantidades elevadas de N forem absorvidas até o final do afilhamento, as plantas pouco responderão à adição de N em cobertura. Já, em locais na lavoura onde os valores de NDVI são intermediários, se utilizaria doses maiores de N, com o objetivo de maximizar o potencial produtivo destes locais.

A determinação do NDVI em estádios de desenvolvimento mais tardios (emborrachamento e florescimento) pode não ter mais funcionalidade sobre estratégias de manejo do N para aumento do rendimento de grãos, uma vez que o potencial de rendimento já está praticamente estabelecido (Bredemeier & Mundstock, 2001). Contudo, vislumbra-se outros usos potenciais das leituras tardias de NDVI na cultura do trigo.

A utilização do NDVI para quantificação do potencial produtivo da cultura no florescimento pode também direcionar a aplicação de N em taxa variável para a melhoria da qualidade de grãos. Assim, para locais de menor potencial produtivo, detectado por menores valores de NDVI (Figura 6.d), as quantidades de N a serem aplicadas seriam mais baixas do que para locais de alto potencial produtivo, pois nestes locais a elevada produtividade dilui o teor de N nos grãos (Stone & Savin, 1999), reduzindo seu teor de proteína. Assim, a aplicação tardia de N no florescimento do trigo, baseada em leituras de NDVI, poderia aumentar o teor de proteína nos grãos com potencial para elevar sua qualidade (Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2010), agregando valor aos grãos no momento de sua comercialização. Entretanto, para se utilizar algoritmos na estimativa do potencial produtivo a partir de leituras do NDVI é conveniente estabelecer um modelo padrão que possa ser empregado para um grupo de culturais.

7.5 Considerações finais e perspectivas futuras

O monitoramento das condições nutricionais das culturas no início do seu desenvolvimento é necessário para a estimativa do potencial produtivo da cultura e para a realização da adubação nitrogenada em cobertura. Assim, além dos teores de matéria orgânica do solo, cultura antecessora e expectativa de

rendimento de grãos, faz-se necessária a estimativa das condições nutricionais das culturas ao longo do seu desenvolvimento para a aplicação de N em função de sua real necessidade. As leituras do índice de vegetação por diferença normalizada ao longo do ciclo utilizando sensor óptico ativo de reflectância se mostraram eficientes em identificar variações de potencial produtivo nas culturas do milho, trigo e cevada promovidas por variações na disponibilidade de nitrogênio.

Uma das formas de melhorar a eficiência da adubação nitrogenada em cobertura nestas culturas será utilizando essas metodologias, as quais foram capazes de detectar a variabilidade espacial do potencial produtivo das culturas, realizando a aplicação de N a taxa variável *in situ* e em tempo real.

Algumas limitações desta filosofia de aplicação ainda devem ser minimizadas. Considerar as previsões meteorológicas (de curto e longo prazo), a dose de N para máxima eficiência econômica, a sensibilidade da cultivar ao acamamento (e, por conseguinte, a dose máxima de N tolerada), as diferenças na dinâmica do nitrogênio nas diferentes regiões de produção do país, são algumas das melhorias possíveis para tornar a aplicação de N a taxa variável em uma prática eficiente e aceita tanto pela pesquisa quanto pelo setor produtivo.

Literatura citada

- AMARAL, L.R.D.; MOLIN, J.P. Sensor óptico no auxílio à recomendação de adubação nitrogenada em cana de açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.12, p.1633–1642, 2011.
- AMARAL, T.A. et al. Nitrogen management strategies for smallholder maize production systems: Yield and profitability variability. **International Journal of Plant Production**, v.9, n.1, p.75-98, 2015.
- BAKER, N.R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis *in vivo*. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, n.1, p.89-113, 2008.
- BISSANI, C.B., GIANELLO, C., CAMARGO, F.A.O., TEDESCO, M.J. Org, 2ed. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 344p.
- BREDEMEIER, C. **Predição da necessidade de nitrogênio em cobertura em trigo e aveia**. 1999. 101f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Estádios fenológicos do trigo para adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.2, p.317-323, 2001.

CARTER, G.A.; KNAPPA, A.K. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. **American Journal of Botany**, n.4, v.88, p.677–684, 2001.

CUNHA, E.Q. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II – Atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.2, p.603-611, 2011.

DALMOLIN, R.S.D. et al. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v.35, n.2, p.481-489, 2005.

DHARMAKEERTHI, R.S.; KAY, B.D.; BEAUCHAMP, E.G. Spatial variability of in season N uptake by corn across a variable landscape as affected by management. **Agronomy Journal**, v.98, n.2, p.255–264, 2006.

DRURY, C.F. et al. The non-limiting and least limiting water ranges for soil nitrogen mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, v.67, n.5, p.1388-1404, 2003.

ERDLE, K.; MISTELE, B.; SCHMIDHALTER, U. Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. **Field Crops Research**, v.124, p.74-84, 2011.

FENG, W. et al. Monitoring leaf nitrogen status with hyperspectral reflectance in wheat. **European Journal of Agronomy**, v.28, n.3, p.394-404, 2008.

FIXEN, P.E. The four rights within a global fertilizer best management practices framework. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. p.1-22.

FLOWERS, M.R. et al. Field validation of a remote sensing technique for early nitrogen application decisions in wheat. **Agronomy Journal**, v.95, p.167–76, 2003.

FOUNTOURA, S.M.V.; BAYER, C. Adubação Nitrogenada para Alto Rendimento de Milho em Plantio Direto na Região Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.6, p.1721-1732, 2009.

FREEMAN, K.W. et al. By-plant prediction of corn forage biomass and nitrogen uptake at various growth stages using remote sensing and plant height. **Agronomy Journal**, v.65, n.2, p.530-536, 2007.

FUERTES-MENDIZÁBAL, T. et al. Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. **European Journal of Agronomy**, v.33, n.1, p.52–61, 2010.

GIRMA, K. et al. Mid-season prediction of wheat-grain yield potential using plant, soil, and sensor measurements. **Journal of Plant Nutrition**, v.29, p.873–97, 2006.

GROHS, D.S. et al. Estimativa da biomassa e do potencial de rendimento de grãos em cevada através de medições de reflectância. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CEVADA, 26., 2007, Passo Fundo, RS. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA, 2007. p.192-199.

GROHS, D.S. et al. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor Greenseeker. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.101-112, 2009.

GUIMARÃES, T.G. et al. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivados em dois tipos de solo. **Bragantia**, v.58, n.1, p.209-216, 1999.

HANSEN, P.M.; SCHJOERRING, J.K. Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. **Remote Sensing of Environment**, v.86, n.4, p.542-553, 2003.

HUANG, Z.X. et al. Photosynthetic characteristics during grain filling stage of summer maize hybrids with high yield potential of 15,000 kg ha⁻¹. **Scientia Agricultura Sinica**, v.40, n.9, p.1898–1906, 2007.

JORGENSEN, J.R.; JORGENSEN, R.N. Uniformity of wheat yield and quality using sensor assisted application of nitrogen. **Precision Agriculture**, v.8, p.63–73, 2007.

KITCHEN, N.R. et al. Ground-based canopy reflectance sensing for variable-rate nitrogen corn fertilization. **Agronomy Journal**, v.102, n.1, p.71-84, 2010.

LAMOTHE, A.G. **Manejo del nitrógeno para aumentar productividad en trigo**. Montevideo: INIA, 1994. 26p. (Série Técnica, 54).

LARSON, W.E.; ROBERT, P.C. Farming by soil. In: LAL, R.; PIERCE, F.J. (Ed.). **Soil management for sustainability**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1991. p.103-112.

LIU, Y.; SWINTON, S.M., MILLER, N.R. In site-specific yield response consistent over time? Does it pay? **American Journal of Agricultural Economics**, v.88, n.2, p.471-483, 2006.

LOFTON, J. et al. Estimating sugarcane yield potential using an in-season determination of normalized difference vegetative index. **Sensors**, v.12, n.6, p.7529–7547, 2012.

LOURENTE, E.R.P. et al. Culturas antecessoras, doses e fontes de nitrogênio nos componentes de produção do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.29, n.1, p.55-61, 2007.

MARSCHNER, H.; MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. London, UK: Academic Press; 2012.

MARTIN, K.L.; RAUN, W.; SOLIE, J. By-plant prediction of corn grain yield using optical sensor readings and measured plant height. **Journal of Plant Nutrition**, v.35, n.9, p.1429-1439, 2012.

McBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T. Future directions of precision agriculture. **Precision Agriculture**, v.1, n.6, p.7-23, 2005.

MILANI, L. et al. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, n.4, p.591-598, 2006.

MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão - O gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2001. 83p.

MOLIN, J.P. et al. Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1345-1349. 2010.

NTECH INDUSTRIES, UKIAH, CA, USA. **Greenseeker manuals downloads**. Disponível em: <<http://www.ntechindustries.com/greenseeker-manual.html>>. Acesso: 15 de setembro de 2013.

PHILLIPS, S.B.; KEAHEY, D.A.; WARREN, J.G.; MULLINS, G.L. Estimating winter wheat tiller density using spectral reflectance sensors for early-spring, variable-rate nitrogen applications. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, p.591-600, 2004.

PIERCE, F.J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**, v.67, p.1-85, 1999.

PIERCE, F.J.; SADLER, E.J. (Ed.). **The state of site-specific management for agriculture**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1997. p.1-18.

POLETTI, N. **Disponibilidade de nitrogênio no solo e sua relação com o manejo da adubação nitrogenada**. 2004. 119f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PORTZ, G. **Obtenção de algoritmo agronômico para sensor foto ativo de refletância vegetal visando à aplicação da adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar**. 2011. 120 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

PORTZ, G.; MOLIN, J.P.; JASPER, J. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v.13, n.1, p.33-44, 2011.

POVH, F.P. et al. Uso de sensor ótico ativo aplicado ao manejo de nitrogênio em trigo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p.343-50.

RAUN, W.R. et al. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. **Agronomy Journal**, v.94, n.1, p.815–820, 2002.

RAUN, W.R. et al. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Monticello, v.36, p.2759-81, 2005.

REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE MILHO E SORGO. **LVIII Reunião Técnica Anual do Milho e XLI Reunião Técnica Anual de Sorgo: Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul – Safras 2013/2014 e 2014/2015**. Pelotas (RS). 2013. 124 p.

RICCE, W.S. et al. Épocas de dessecação de pastagem de inverno e produtividade de grãos de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p. 1220-1225. 2011.

RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 2004. 214 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2004.

ROUSE, J.W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In. **NASA ERTS Symposium**, v.3, p.309-317, 1973.

SAIZ-FERNÁNDEZ, I. et al. High nitrate supply reduces growth in maize, from cell to whole plant, **Journal of Plant Physiology**, v.173, n.1, p.120-129, 2015.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em áreas severamente erodidas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.1, p.115-122, 1998.

SANTOS, J.S. et al. Identificação da dinâmica espaço-temporal para estimar área cultivada de soja a partir de imagens MODIS no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.1, p.54-63, 2014.

SANTOS, L.P.D. et al. Doses de nitrogênio na cultura do milho para altas produtividades de grãos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.3, p. 270-279, 2013.

SAWYER, J.F. Concepts of variable rate technology with considerations for fertilizer application. **Journal of Agriculture Science**, v.7, n.1, p.195-201, 1994.

SCHMIDT, J. et al. Improving in-season nitrogen recommendations for maize using an active sensor. **Field Crops Research**, v.120, n.1, p.94-101, 2011.

SCHMIDT, J.P.; DELLINGER, A.E.; BEEGLE, D.B. Nitrogen recommendations for corn: an on the-go sensor compared with current recommendation methods. **Agronomy Journal**, v.101, n.4, p.916-924, 2009.

SERRANO, L.; FILELLA, I.; PEÑUELAS, J. Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. **Crop Science**, v.40, n.1, p.723-731, 2000.

SHANAHAN, J. et al. Responsive in-season nitrogen management for cereals. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 61, n. 1, p.51–62, 2008.

SILVA, E.C. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p.353-362, 2005.

SILVA, V.R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho - Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1013-1020, 2003.

SOLARI, F. et al. Active sensor reflectance measurements of corn nitrogen status and yield potential. **Agronomy Journal**, v.76, p.571-579. 2008.

STONE, P.J.; SAVIN, R. Grain quality and its physiological determinants. In: SATORRE, E.H.; SLAFLER, G.A. **Ecology and physiology of yield determination**. Binghamton: Haworth Press, 1999. Cap.5, p.85-120.

WAMSER, A.F.; MUNDSTOCK, C.M. Adubação nitrogenada em estádios fenológicos em cevada, cultivar “MN 698”. **Ciência Rural**, v.37, n.4, p.942-948, 2007.

WEI, F. et al. Monitoring leaf nitrogen accumulation in wheat with hyper-spectral remote sensing. **Acta Ecologica Sinica**, v.28, n.1, p.23-32, 2008.

WELIGAMA, C. et al. Application of nitrogen in NO_3^- form increases rhizosphere alkalisation in the subsurface soil layers in an acid soil. **Plant and Soil**, v.333, n.1, p.403–416, 2010.

WELSH, J.P. et al. Developing strategies for spatially variable nitrogen application in cereals. II: Wheat. **Biosystems Engineering**, v.84, n.4, p.495-511, 2003.

ZHU, Q. et al. Hydropedological processes and their implications for nitrogen availability to corn. **Geoderma**, v.154, n.1, p.111–122, 2009.

ZHU, Q.; SCHMIDT, J.P.; BRYANT, R.B. Maize (*Zea mays* L.) yield response to nitrogen as influenced by spatio-temporal variations of soil-water-topography dynamics. **Soil & Tillage Research**, v.146, n.1, p.174-183, 2015.

CAPÍTULO 8

Tecnologias para detecção e controle em sítio-específico de plantas daninhas

Luan Pierre Pott¹, Elódio Sebem², Telmo Jorge Carneiro Amado³

Resumo

Visto o conceito de agricultura de precisão e as novas tecnologias para a agricultura, tem-se a busca do aprimoramento de ferramentas de uma etapa de extrema importância no manejo de culturas agrícolas, que é a identificação e controle de plantas daninhas. Este tema evoluiu muito, à exemplo de pulverizadores com marcadores de linhas com métodos convencionais para evitar falhas e/ou sobreposições passaram a ser controlados por piloto automático auxiliado por *Global Navigation Satellite System (GNSS)*, com inúmeros graus de precisão. Produtos herbicidas mais estáveis e com maior informação associado com a maior atenção dos fatores climáticos de pulverização aumentaram a eficiência das aplicações. Para tanto, a variabilidade espacial da distribuição das plantas daninhas e de atributos que interferem em sua ocorrência não estão sendo consideradas na decisão de seus manejos na maioria dos casos. Pesquisas estão sendo realizadas neste âmbito, realizando o levantamento de plantas daninhas de áreas, e a partir desta informação gerar recomendações específicas para seu controle. Tecnologias de sensoriamento também estão sendo estudadas com possibilidade de seleção de comprimentos de onda que sejam capazes de diferir alvos em pulverizações em tempo real. Trabalhos diferindo alvos agrícolas em pré-semeadura e pós-semeadura possibilita a automação de sistemas de pulverização com sensores embarcados realizando a detecção e controle dirigido de plantas daninhas on-the-go. São tecnologias que a médio e longo prazo serão adotadas com objetivo de aumentar eficiência das pulverizações diminuindo custos ao produtor, além de harmonizar com as questões ambientais.

Palavras-chave: Plantas daninhas, sensoriamento, comprimento de ondas, detecção.

Technologies for weed detection and control in site-specific

Abstract

From the concept of precision agriculture and new technologies for agriculture, has been the pursuit of enhancement tools a step of great importance in the management of crops,

¹ Graduando em Agronomia, Departamento de Engenharia Agrícola da UFSM. E-mail: luanpierreppott@hotmail.com

² Eng.^o Ftal, Dr. Professor EBTT do Colégio Politécnico da UFSM. E-mail: elodiosebem@politecnico.ufsm.br

³ Eng.^o Agr.^o, Dr. Professor Titular do Departamento de Solos da UFSM. E-mail: florestatel@hotmail.com

which is to identify and weed control. This theme has evolved, for example sprayers bulletted lines with conventional methods to prevent failures and/or overlaps are now controlled by autopilot aided by Global Navigation Satellite System (GNSS), with numerous degrees of accuracy. Herbicides more stable and more information associated with the greatest attention of climate spraying factors increased the efficiency of applications. Therefore, the spatial variability of distribution of weeds and attributes that interfere in its occurrence are not being considered in the decision of their managements in most cases. Research is being carried out in this area by conducting a survey of weed areas, and from this information to generate specific recommendations for its control. Sensing technologies are also being studied with the possibility of selection of wavelengths which are capable of deferring targets in real time spraying. Works differing agricultural targets in pre-sowing and post-sowing enables the automation of spraying systems with sensors embedded performing detection and directed weed control on-the-go. These are technologies that the medium and long time will be adopted in order to increase efficiency of spray reducing costs to the producer, and harmonize with environmental issues.

Keywords: Weed, sensing, wavelength, detection.

8.1 Introdução

Planta daninha é conceituada como toda e qualquer planta que se localiza em espaços indesejados que causam interferência à atividade, seja em meio ambiental, seja em meio social e agrícola, este último ocasionando diminuição da produtividade de culturas.

Para tanto, o controle de plantas daninhas é de suma importância em atividades agrícolas. O método químico, com o emprego dos herbicidas é o mais utilizado para o controle, devido sua rapidez de ação e elevada eficiência. Porém, agroquímicos de modo geral e, especificamente, os herbicidas possuem alto custo, onerando a produção agrícola. Além do impacto ambiental causado pelo uso intensivo destes produtos.

Shiratsuchi et al. (2002), com a ferramenta de metanálise, analisou um total de 63 artigos sobre a lucratividade de sistemas que adotaram algum tipo de ferramenta de agricultura de precisão, reportando que a aplicação sítio-específico de herbicidas mostrou-se vantajosa em 73% dos casos, 16% apresentaram resultados mistos e em 11% deles foi desvantajosa.

A pulverização de herbicidas seja ela, em época de pré-semeadura (dessecação), pré-emergência ou pós-emergência é na maioria dos casos realizada em área total, não levando em consideração a variabilidade espacial e temporal da comunidade infestante na área, ou mesmo a variabilidade de atributos de solo que interferem diretamente no residual dos produtos.

Tecnologias que possibilitem a pulverização de forma precisa e eficaz, evoluíram muito ao longo dos anos, através do aprimoramento de bicos, incorporação de condições climáticas, e qualidade dos pulverizadores. Porém, há necessidade de continuar com a evolução visando aumentar o retorno econômico, diminuir as perdas de produtividade ocasionada pela competição

das plantas daninhas, como também diminuir o custo com produtos herbicidas e o impacto ambiental.

Técnicas de georreferenciamento com a utilização da ferramenta GNSS (Global Navigation Satellite System) para a espacialização de informações: ocorrência de plantas daninhas, grau de infestação, espécies infestantes, banco de sementes no solo, condições meteorológicas como umidade e temperatura, características microbiológicas do solo, atributos químicos do solo como a acidez do solo, e atributos físicos do solo, como a textura do solo permitem a composição de mapas temáticos das variáveis, que influenciam no manejo de plantas daninhas.

Métodos convencionais de levantamento da comunidade infestante como o método do contorno das infestações e o da amostragem em malha são trabalhosos e onerosos devido a elevada demanda de mão-de-obra para áreas com média e grande extensão, e ainda morosos devido as etapas do processo até a obtenção de mapas temáticos, para posterior prescrição de herbicidas de forma localizada, considerando a variabilidade espacial das plantas alvo.

De maneira que, tecnologias alternativas para levantamento de informações da comunidade de plantas daninhas como imagens aéreas e sensores que trabalhem próximo do referencial solo estão cada vez ganhando mais espaço no mercado agrícola. Estas tecnologias possibilitam com auxílio de computadores de bordo e atuadores a pulverização de herbicidas e controle de plantas daninhas de forma dirigida e/ou em taxa variada de um determinado princípio ativo.

8.2 Interferência de plantas daninhas

A interferência ocasionada pela presença de plantas daninhas, seja em ambientes sociais e/ou ambientes agrícolas, possuem vários aspectos negativos. Na figura 1, pode-se observar plantas daninhas em diferentes ambientes e em diferentes fases de desenvolvimento da cultura cultivada.

Especificamente na produção agrícola, as plantas daninhas interferem de forma direta competindo com a cultura de valor comercial por nutrientes, radiação solar, oxigênio, água, gás carbônio (CO_2) e espaço físico. Também podem interferir de forma indireta, dificultando processos de tratos culturais e de colheita, podendo ainda ser responsáveis pela produção de compostos que afetam o desenvolvimento de culturas (alelopatia), entre outras.

Diferentes espécies de plantas daninhas possuem características genéticas e morfo-fisiológicas distintas, muitas das quais são de importância para sua classificação. Estas características com a interação genótipo x ambiente proporcionam particularidades de adaptação, agressividade, crescimento e ciclo das espécies, que resultam em diferentes resultados de interferência.



Figura 1 Planta daninha no estádio inicial da cultura da soja (PD1), plantas daninhas na maturação fisiológica da soja (PD2) e plantas daninhas em ambientes sociais (PD3).

Na figura 2, é representado através da regressão não-linear hipérbole retangular, proposto por Cousens et al. (1987) na qual melhor representa a interferência devido a competição de plantas daninhas em áreas agrícolas, a perda de produtividade em função da densidade de plantas na cultura da soja.

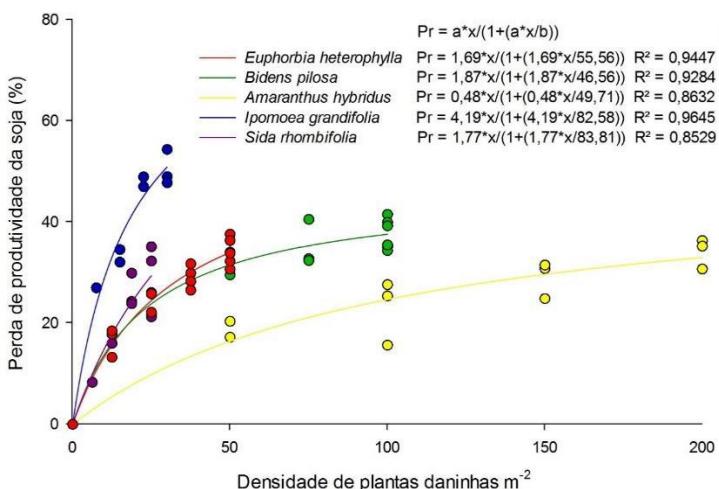


Figura 2 Perda de produtividade da cultura da soja em função dos níveis de infestação de diferentes espécies de plantas daninhas. Dados de 2014-2015.

Na equação da figura 2, Pr é a perda de produtividade em %, x é a densidade de plantas daninhas m^{-2} , o valor de a é o limite da função quando a densidade de plantas daninhas m^{-2} tende a 1, sendo este o valor de perda de produtividade de soja (%) quando há uma espécie de planta daninha m^{-2} . E b é o limite da função quando a densidade de plantas daninhas m^{-2} tende ao infinito. A partir de uma determinada densidade de plantas daninhas, as próprias plantas daninhas competem entre si, fenômeno denominado competição intraespecífica entre plantas daninhas, tendo um valor máximo de competição com a cultura cultivada.

Na figura 2 é notório a diferença na capacidade de competição de plantas daninhas por recursos naturais, além de que a ocorrência é comumente disposta com uma comunidade de plantas daninhas, ao invés de populações, o que dificulta muitas vezes a determinação dos níveis de dano econômico, como estratégia de decisão de controle de plantas daninhas.

8.3 Evolução de tecnologias para pulverização precisa de herbicidas

Ferramentas de processamento de informações desenvolvidas nas últimas décadas e a evolução das tecnologias para pulverização precisa de herbicidas que vão desde a modernização e a elevada presença de eletrônica embarcada nos pulverizadores, a preocupação com utilização de sinal de elevada acurácia visando o direcionamento e alinhamento, proporcionam maior qualidade na pulverização terrestre de agroquímicos.

De fato, as tecnologias desenvolvidas para os pulverizadores como a marcação das linhas de deslocamento com cabo de aço foram substituídas por marcadores de espuma visando identificar os limites da barra de pulverização, para posterior deslocamento paralelo a esta marcação.

Com o avanço da eletrônica embarcada em máquinas e equipamentos agrícolas, controladores de pulverização facilitaram a alteração de taxas de aplicação, velocidade, visualização do volume do tanque, e controle de seções de barra.

A tecnologia de sistema de posicionamento geográfico GNSS, com o sistema de correção diferencial DGPS (Differential Global Positioning System) e RTK (Real Time Kinematic), possibilitou a implantação tanto das barras de luzes como o desenvolvimento do piloto automático para máquinas agrícolas. Esta última, piloto automático, é utilizada também em outras atividades tais como a semeadura, distribuição de corretivos, fertilizantes e colheita.

A barra de luzes, tecnologia que substituiu os tradicionais marcadores de espuma, é um equipamento utilizado para a orientação de pulverizadores em faixas adjacentes, com o propósito de diminuir a sobreposição entre passadas consecutivas e otimizar a eficiência da operação agrícola.

O erro médio das passadas de deslocamento do pulverizador com marcador de espuma é de 0,57 m, porém com o sistema GNSS e barra de luzes é de 0,22 m e, finalmente, com piloto automático é de 0,13 m (Baio, 2000; 2003).

Mapas temáticos de informações relacionadas com a comunidade infestante da área, banco de sementes de plantas daninhas, atributos que interferem no comportamento dos herbicidas no solo, entre outros, são alternativas para o manejo de plantas daninhas e a pulverização de herbicidas de forma dirigida e a taxa variada.

Recentemente, os sistemas sensores e as imagens aéreas são ferramentas muito pesquisadas, principalmente os sensores ópticos para detecção de plantas daninhas visando a prescrição de pulverização em tempo real tanto da decisão de aplicar ou não, quanto da variação da calda e do produto a ser pulverizado.

Na figura 3 destaca-se a distribuição normal de adoção de tecnologia precisa de pulverização por produtores agrícolas dos Estados Unidos da América.



Figura 3 Difusão de inovação de tecnologias para pulverização precisa.

Fonte: Adaptado de Rogers (2015).

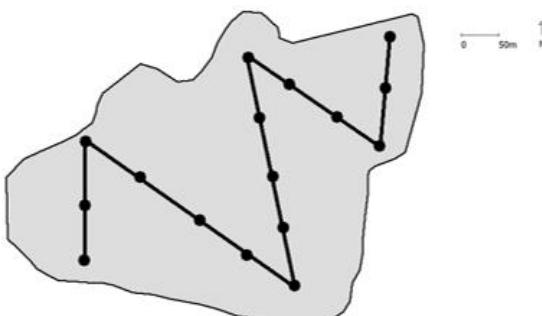
8.4 Métodos convencionais de levantamento de plantas daninhas

8.4.1 Método zigue-zague

Consiste em percorrer a área de produção em forma de zigue-zague, obtendo informações ao longo do percurso sobre as espécies presentes, e níveis de infestação. A aquisição dos dados pode ser feita de forma metodológica, como apresentado na figura 4, com a coleta de informações a cada 50 m da distância percorrida na área.

Este método é o mais usual para recomendação da necessidade de controle das plantas daninhas, por se tornar muito fácil, econômico e rápido. Um entrave muito frequente é que a aquisição de informações se restringe às extremidades da lavoura, e estas informações são extrapoladas para a área inteira, podendo subestimar ou superestimar a ocorrência de plantas daninhas por erro amostral grosseiro apresentando valores muito diferentes da realidade.

Em muitos casos, como se trabalha com a média da ocorrência de plantas daninhas da área, este levantamento se torna pouco preciso, visto que considera a área agrícola em termos de ocorrência de plantas daninhas, homogênea.



- Ponto de coleta da comunidade de plantas daninhas presente.

Figura 4 Método de levantamento de plantas daninhas zigue-zague.

8.4.2 Método de delimitação de contorno

Baseia-se na seleção de áreas com maiores níveis de infestação e/ou com espécies diferentes para manejos específicos para o controle de plantas daninhas na área de produção. Sua implementação pode-se fazer através da delimitação do contorno da comunidade de invasoras dentro da área, obtendo ambientes relativamente homogêneo quanto a presença de plantas daninhas.

Este método é uma alternativa econômica, de fácil execução e rápida. Porém, é possível que haja variabilidade tanto na composição botânica, quanto do nível de infestação dentro destas áreas.

Na figura 5 é apresentado um mapa temático com a delimitação de contornos da população de diferentes espécies de plantas daninhas. Em relação ao manejo após obtenção desta informação, pode-se utilizar métodos de controle diferente para cada ambiente demarcado, possibilitando um controle de plantas daninhas dirigido.

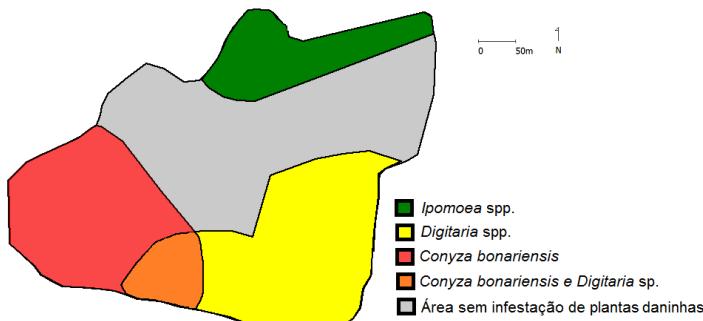


Figura 5 Espacialização dos contornos da infestação de plantas daninhas de uma área agrícola.

8.4.3 Método dos pontos georreferenciados

A partir da ferramenta do (SIG) Sistemas de Informações Geográficas, o levantamento georreferenciado da ocorrência e distribuição de plantas daninhas em áreas agrícolas é uma técnica possível de se fazer. Para tanto é necessário percorrer toda a extensão da área com a utilização de um equipamento GNSS, para marcação de pontos georreferenciados na localização da planta infestante. Método que se torna inviável para grandes áreas, a partir de 10 ha, visto a grande demanda por mão-de-obra necessária para o levantamento, resultando em elevados custos.

Após a obtenção da posição espacial da ocorrência das plantas daninhas na área, pode-se confeccionar um mapa temático da variabilidade espacial das plantas daninhas com elevada resolução espacial, e utilizar este para prescrição de mapas de pulverização, possibilitando tratar áreas com maior e menor níveis de infestação de forma diferente.

Na figura 6, os pontos verdes são plantas daninhas ocorrentes na área, e, com a utilização dos polinômios de Thiessen foi possível criar polígonos para representação da distribuição dos pontos, nos quais polígonos menores representam os pontos mais agrupados, e os polígonos maiores os pontos que estão mais dispersos. Isto facilita a análise da ocorrência de plantas daninhas agrupadas em “reboleiras”, e visa orientar o manejo em sítio-específico.

Este método tem sido pouco utilizado em função de ser trabalhoso, do elevado tempo demandado para aquisição dos dados. Porém os polinômios de Thiessen são uma ferramenta eficiente para o manejo de plantas daninhas levando em consideração a variabilidade espacial da sua distribuição na área agrícola.

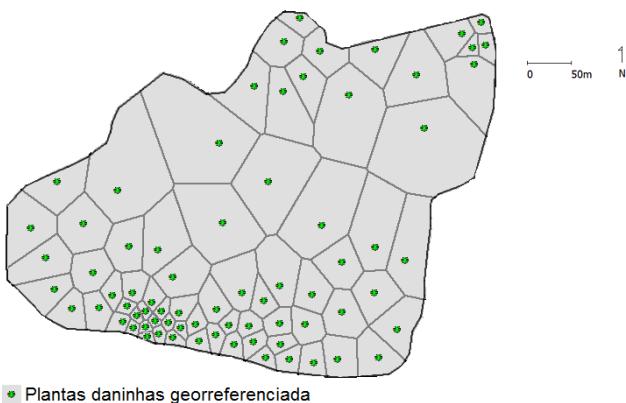


Figura 6 Distribuição de pontos georreferenciados de plantas daninhas da área com a confecção de polinômio de Thiessen.

8.4.4 Método da amostragem na largura de pulverização

Pulverizadores utilizados para pulverização de agroquímicos são compostos por uma largura de barra que varia seu tamanho desde pulverizadores costais com apenas uma ponteira, pulverizadores costais de barra de 1m, até pulverizadores mecanizados terrestres e de pulverização aérea podendo alcançar largura de trabalho superior à 30 m.

Para pulverizadores convencionais, o volume pulverizado é assumido como sendo o mesmo, não tendo variações na taxa de aplicação por bico ao longo da barra de pulverização. Porém, devido às perdas de carga e problemas nas mangueiras e bicos, há diferença no volume pulverizado por bico, mas esta variação é desconsiderada para fins de aplicação a taxa variada.

Considerando que a taxa de aplicação seja constante ao longo da barra de pulverização, torna-se relevante a análise da variabilidade de plantas daninhas ao longo do deslocamento do pulverizador considerando a possibilidade de pulverização a taxa variada em faixas.

Na figura 7 representa-se um exemplo de grade amostral levando em consideração a largura da barra de pulverização de 25 m, com pontos de coleta de comunidade de plantas daninhas ao longo do deslocamento do pulverizador.

Neste caso, para exemplificação foram representadas duas avaliações da infestação de plantas daninhas por passada de pulverizador.

8.4.5 Método de grades amostrais

O método das grades amostrais é muito comum no âmbito de levantamento da qualidade do solo, principalmente atributos químicos e físicos

do solo. Porém, para levantamento de plantas daninhas é um método com uso restrito devido a questões de tamanho da grade amostral.

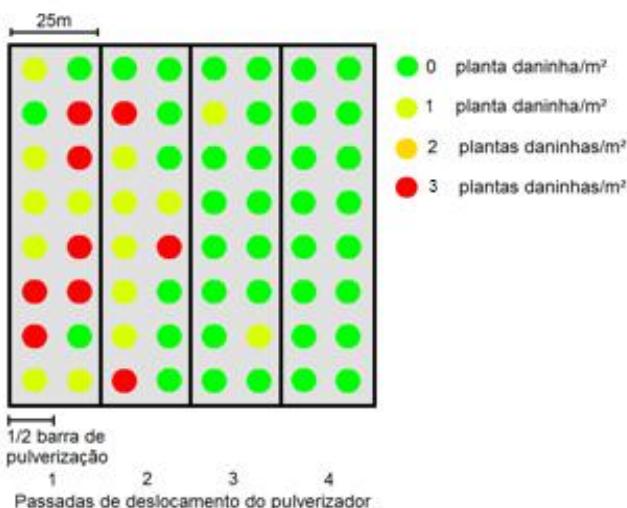


Figura 7 Coleta de amostras da comunidade infestante ao longo do deslocamento de um pulverizador com 25 m de barra.

O método consiste na divisão da área agricultável através de uma malha, podendo variar o tamanho e a forma da célula. A mais comumente utilizada é a grade quadriculada, onde essa tem um ponto central georreferenciado, o qual será utilizado como ponto de informação para interpolação em programas computacionais especializados, gerando mapas temáticos.

O tamanho da malha amostral é dependente da área agrícola, disponibilidade de mão-de-obra, tempo destinado a esse serviço, etc. Na medida que diminui o tamanho da malha amostral, aumentando o número de pontos por área, maior a resolução, mais confiável e preciso é a informação.

É notório o trabalho, a onerosidade e o tempo demandado para este levantamento, não sendo em muitas vezes viável para os produtores, os quais possuem inúmeras atividades durante o dia.

Vários tamanhos de malha amostral foram analisados com o intuito de recomendação de um tamanho que seja viável e com satisfatório nível de precisão. Segundo Lutman & Perry (1999), uma malha de $(6 \times 6)m^2$ foi considerada como sendo o tamanho máximo, pois malhas maiores podem gerar mapas com baixa resolução inviabilizando a técnica.

Para as coletas de informação na grade amostral são utilizados área mínimas de mapeamento, onde comumente é utilizado quadrados amostrais

com dimensões de 0,06m² a 0,38m² (Dessaint et al. 1991; Cardina et al. 1996; Gehards et al. 1996).

Nas figuras 8 e 9 observa-se a variabilidade espacial da ocorrência de plantas daninhas, em uma área de um hectare infestada tanto por azevém (*Lolium multiflorum*) (figura 8) e buva (*Conyza bonariensis*) (figura 9), sob diferentes grades amostrais: (6,125 x 6,125)m², (12,5 x 12,5)m², (25 x 25)m², (50 x 50)m², e (100 x 100)m². Obtendo número de pontos amostrais de 256, 64, 16, 4 e 1, respectivamente para as grades amostrais acima.

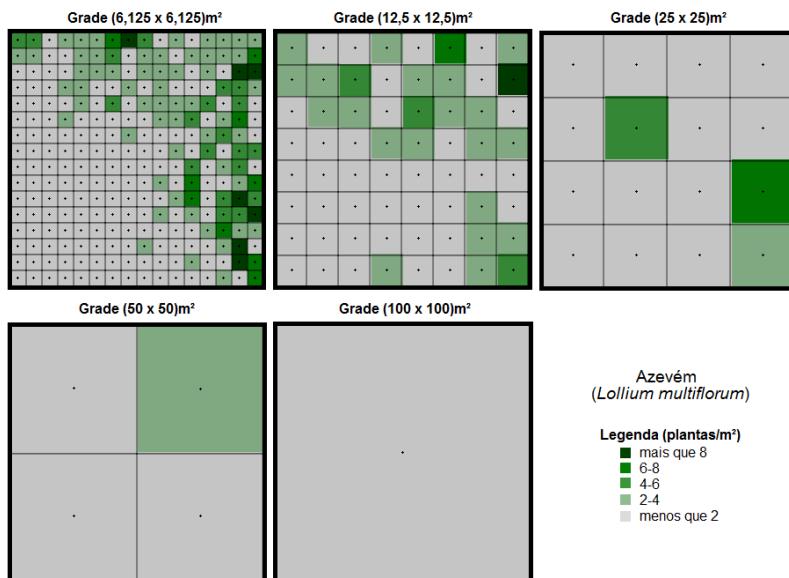


Figura 8 Diferentes grades amostrais com a população infestante de azevém na área.

Pode-se observar que a variabilidade espacial do azevém (figura 10) desta área de 1 hectare possui uma dependência espacial mais nítida, comparada com a variabilidade espacial da buva (figura 11). Porém, este é apenas um caso, tendo em condições de campo a ocorrência de plantas daninhas de forma mais agrupada ou isolada.

Esta ocorrência e distribuição de plantas daninhas é dependente principalmente da forma de propagação e distribuição de sementes da espécie, como também do banco de sementes de plantas daninhas no solo, e condições ambientais que favoreça sua ocorrência.

No exemplo foi notório também a diferença encontrada da ocorrência de plantas daninhas entre as grades amostrais, uma vez que a grade de (6,125 x 6,125)m² representa de forma mais precisa esta variabilidade, diminuindo a precisão a medida que aumenta o tamanho das grades amostrais.

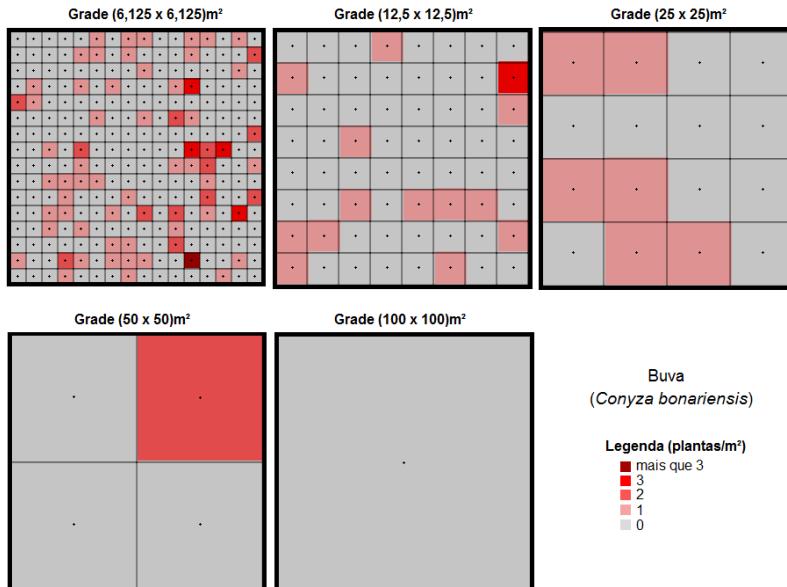


Figura 9 Diferentes grades amostrais com a população infestante de buva na área.

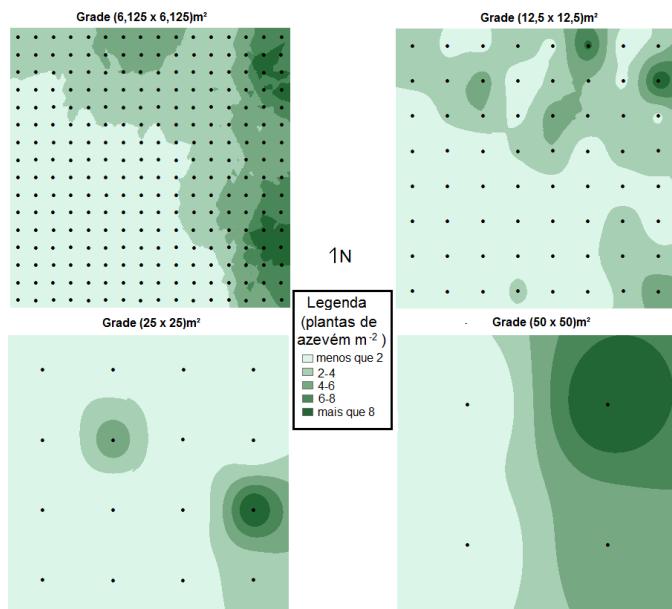


Figura 10 Mapa temático interpolado da variabilidade espacial do azevém em diferentes malhas amostrais.

Tendo no caso da grade de $(100 \times 100)m^2$ no qual tem-se 1 ponto amostral por hectare a informação de não ocorrência de plantas daninhas tanto para azevém, como para buva, podendo gerar uma recomendação de forma equivocada de não controlar estas plantas daninhas nesta área de 1 hectare.

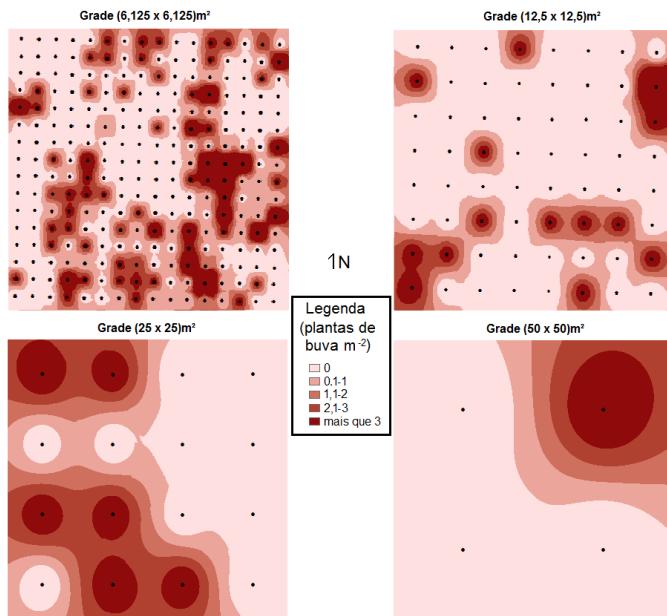


Figura 11 Mapa temático interpolado da variabilidade espacial da buva nas diferentes malhas amostrais.

8.5 Sistemas sensores

Os sensores são os sistemas responsáveis pela conversão da energia proveniente dos objetos em um registro na forma de imagem ou gráfico, que permita associar a energia captada com as características físicas, químicas, biológicas ou geométricas dos alvos. A partir disto, é possível inferir sobre questões agronômicas como: estado nutricional das culturas, características do solo, estresse hídrico, sanidade, presença de plantas daninhas, entre outras.

Quanto à fonte de energia, os sensores podem ser classificados como passivos que dependem de uma fonte de energia externa, e ativos os quais produzem sua própria energia, para após o coletor, detector e processador gerar o produto de um gráfico, mapa ou imagem.

Os sensores ainda podem ser classificados como imageadores e não-imageadores. Um sistema imageador produz uma imagem bidimensional da

energia captada pelo sensor, sendo apto para produzir informações espaciais. Já sistemas não-imageadores permitem medir a energia proveniente de um alvo sem produzir uma imagem, tendo como produto um gráfico associando comprimentos de onda, com a respectiva energia captada.

As aquisições de dados dependem do sistema de suporte, no qual é necessária uma plataforma. Os mais comuns são: satélites e aeronaves, mas também níveis de aquisição de dados em laboratório e a campo.

8.5.1 Sistemas imageadores

Seu produto é uma imagem bidimensional e, em alguns casos, tridimensional da superfície imageada. Câmeras fotográficas muitas vezes utilizadas para registrar alvos agrícolas com intuito de demonstrar as condições da lavoura, solo, ou problemas que ocorrem durante as atividades da produção agrícola, podem ser utilizadas visando o mapeamento de falhas de semeadura, doenças, pragas e plantas daninhas.

As imagens mais comuns são pancromáticas, ou seja, sensível a uma ampla faixa de radiação que se estende do visível ao infravermelho próximo, e imagens coloridas, estas para identificação mais precisa de objetos da superfície.

Estas imagens necessitam ser analisadas a partir de padrões de coloração, textura e forma sendo necessário um determinado tempo de avaliação laboratorial das imagens. (Figura 12).



Figura 12 Exemplo de imagem de câmeras e na direita imagem processada. Fonte: Cruvinol, P. E. 2014.

Para tanto, algoritmos que envolvem padrões predefinidos para imageamento permitem a identificação das plantas daninhas, níveis de infestação podendo ser empregada no manejo de controle das plantas daninhas.

8.5.2 Sistemas não-imageadores

Sistemas não-imageadores são compostos por sensores que geram como produto final um gráfico relacionando bandas ou comprimentos de onda com a energia captada de um alvo.

Podem ser divididos em sensores multiespectrais, os quais consideram uma ampla faixa de comprimentos de onda, e hiperespectrais os quais possuem uma resolução espacial maior, tendo na maioria dos sensores uma resolução espacial de uma unidade de nanômetro.

Espectrorradiômetros são sensores hiperespectrais passivos referentes à fonte de luz que possuem um amplo espectro de comprimentos de onda. Estes possuem alto potencial de distinção de alvos, podendo ser utilizados para distinção de plantas daninhas tanto de solo-palhada-concreto, de diferenciação de plantas daninhas das culturas cultivadas.

Exemplos de espectrorradiômetros são FieldSpect 4 com comprimentos de onda de (350-2500)nm e HandHeld 2 com comprimentos de onda de (325-1075)nm, ambos da marca Analytical Spectral Devices (ASD), com resoluções espetrais de uma unidade de nanômetro.

8.6 Características gerais da assinatura espectral da vegetação

A assinatura espectral é a intensidade relativa com que cada corpo reflete ou emite a radiação eletromagnética nos diversos comprimentos de ondas.

O comportamento espectral de alvos é relativo a assinatura espectral com as influências que ocorram devido as interações com o meio que é realizado as leituras, ângulo de medição, entre outros.

As curvas espetrais dos alvos, geralmente são representadas por um gráfico relacionando a variável independente comprimento de onda, com a variável dependente da reflectância do alvo.

Na região do visível de (400-700)nm a reflectância de plantas é baixa, geralmente abaixo de 20%, com maior absorção de energia nos comprimentos de onda de 480 e 620nm, devido a absorção de clorofila. Na faixa do comprimento de onda de 560nm, há maior reflectância explicando, por exemplo, a coloração verde dos vegetais.

Na região do infravermelho próximo de (700-1300)nm a reflectância passa a ser maior, obtendo valores de até 90%. Esta reflectância é governada em sua maioria pela estrutura celular interna dos vegetais.

Já na região do espetro correspondente ao infravermelho médio, a reflectância da vegetação caracteriza-se por um decréscimo dos valores da energia refletida, em razão, principalmente, da quantidade de água líquida

presente na folha. Nesta faixa espectral, as bandas que refletem a maior absorção da água ocorrem em 1400, 1900 e 2500nm, (Knipling, 1970; Hoffer, 1978; Guyot et al., 1989).

Na Figura 13, é apresentada uma curva espectral típica de vegetação, com a influência de constituintes do tecido, estrutura e dos conteúdos celulares nas faixas de comprimentos de onda. Destaca-se ainda, a ocorrência de picos de absorção e reflectância ao longo da curva espectral.

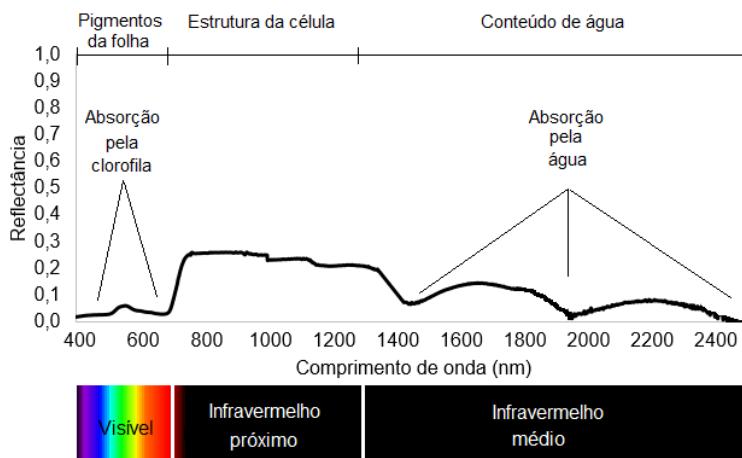


Figura 13 Assinatura espectral da vegetação.

8.6 Tecnologias para identificação e controle de plantas daninhas

É possível realizar o controle de plantas daninhas em três épocas: pré-semeadura (dessecação), pré-emergência e pós-emergência das plantas daninhas.

Há vários métodos de controle de plantas daninhas, porém o método mais utilizado é o químico, com utilização de herbicidas nas três épocas citadas.

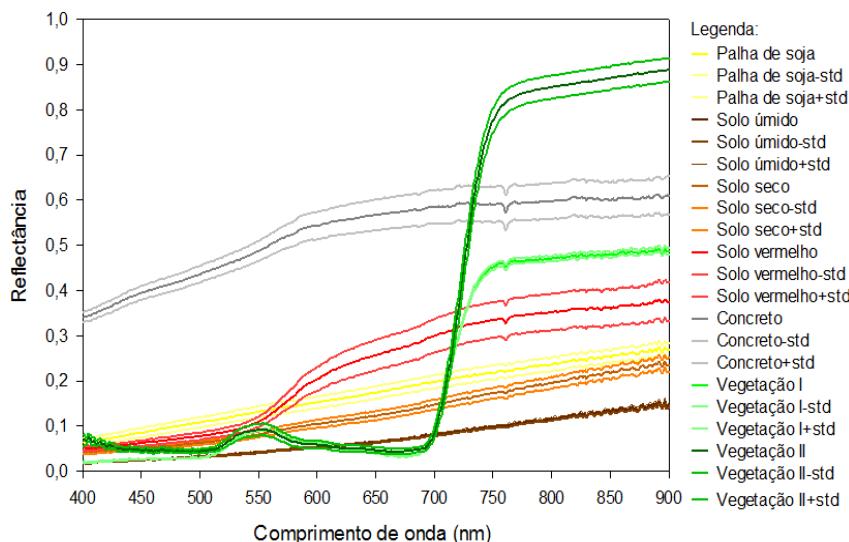
Na pré-semeadura, o objetivo é eliminar toda e qualquer planta ocorrente na área, para posterior semeadura da cultura econômica com a área livre de plantas daninhas. Na pré-emergência o objetivo é controlar as plantas daninhas através de métodos que interfiram na germinação e na emergência das plantas daninhas, com algum período residual dos produtos químicos. Já em pós-emergência, o objetivo central é o controle seletivo das plantas daninhas, com o mínimo de efeito na planta cultivada.

8.6.1 Pré-semeadura

Para realizar um controle como no caso do método químico, com a pulverização de herbicidas de forma dirigida, na qual pulveriza-se apenas onde há presença de plantas, e não pulveriza áreas sem ocorrência de plantas, é necessário a diferenciação dos alvos de vegetação de alvos de solo, resíduos vegetais, concreto entre outros.

Para tanto faz-se necessário o estudo e análise das curvas espectrais destes alvos biológicos e não-biológicos, com o intuito de determinar comprimentos de onda que possam diferir estes alvos através do espectro de um sensor.

Na figura 14 é representado comportamentos espectrais de vegetais, solos, concreto e vegetação, tendo a média de 30 leituras para cada alvo, e a soma ou subtração do desvio padrão da média, tendo uma ideia da variação existente nas leituras destes alvos realizados em condição de ambiente de campo.



Linha contínua central refere-se a média das leituras. $n=30$. Linhas contínuas acima e abaixo da média referem-se à média mais ou menos std (desvio-padrão).

Figura 14 Curvas espectrais de alvos biológicos e não-biológicos.

Observando a figura 14 é possível inferir que determinadas faixas de comprimentos de ondas e unidades de comprimentos de onda que possibilitem através do valor de reflectância relativa a estes comprimentos de onda, ou através da composição de índices envolvendo mais de um comprimento de onda,

distinguir estes alvos. Com isto, é possível identificar plantas daninhas e com a automação desta tecnologia realizar seu controle em tempo real, chamado tecnologia de pulverização dirigida *on-the-go*.

Outra alternativa que poderia ser realizada nesta diferenciação é através de uma análise derivativa da curva espectral, onde a vegetação nos comprimentos de onda da transição da faixa do visível para o infravermelho próximo na chamada *red-edge*, possui um elevado aumento da reflectância, tendo uma taxa de variação da curva naqueles comprimentos de onda elevada, diferindo dos outros alvos que possuem uma taxa de variação da curva próxima a zero, visto que sua regressão aparenta-se próxima de uma regressão linear, conforme apresentado na figura 15.

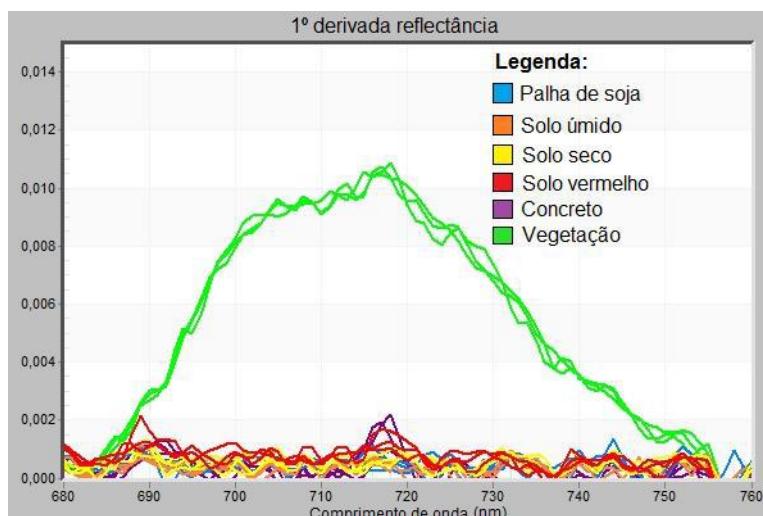


Figura 15 Primeira derivada das curvas espetrais de alvos biológicos e não-biológicos.

Em relação à formação da curva espectral obtendo o comportamento espectral dos alvos de vegetação é necessário cuidado com o campo de visão do sensor, chamado *field of view*, que se relaciona com a angulação e, principalmente, à altura do sensor até o alvo, no qual pode ter influência dos alvos de solo e palhada a exemplo, modificando seu comportamento espectral.

Na figura 16 apresenta-se a variação do comportamento espectral da vegetação cuja espécie é a buva, no qual foi realizado medições com o sensor em diferentes alturas, 0,1m, 0,2m, 0,3m, e 0,4m.

Pode-se observar que nas alturas acima de 0,1m obteve-se uma variação do comportamento espectral típico de vegetação, obtendo curvas espetrais com tendência de alvos de solo e resíduos vegetais, podendo em alguns casos dificultar esta diferenciação.

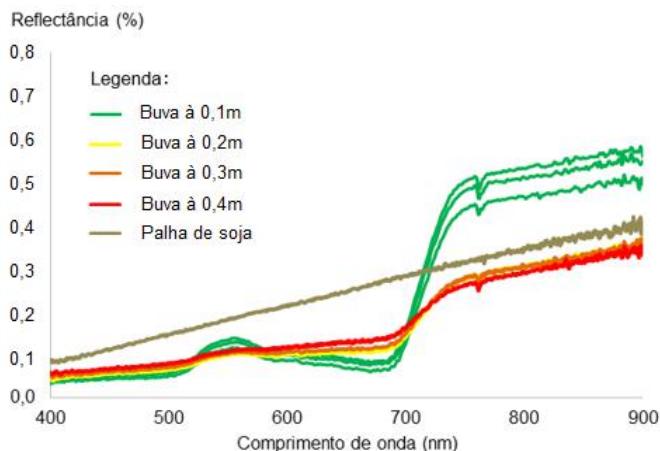


Figura 16 Comportamentos espectrais da vegetação em função da altura do sensor até o alvo de vegetação.

8.6.2 Pré-emergência

O controle em pré-emergência das plantas daninhas tem como objetivo impedir a emergência destas plântulas invasivas. Tem como princípio a pulverização do solo e/ou resíduos vegetais, para efeito na germinação das sementes.

No entanto, agroquímicos possuem características intrínsecas específicas nos quais a partir de características físicas, químicas e biológicas do solo podem sofrer alterações na disponibilidade do ingrediente ativo no solo, podendo não causar o efeito desejado, podendo ser ineficaz no seu controle ou, por outro lado, gerar através de aplicação excessiva do produto fitotoxicidade às culturas cultivadas.

Além das características físicas e químicas que são próprias de cada produto, algumas características do solo que interferem na atuação destes produtos são: textura e estrutura do solo, pH, poder tampão do solo, teor de matéria orgânica do solo, umidade do solo, banco de sementes de plantas daninhas, entre outros.

Neste sentido é possível realizar um controle em pré-emergência das plantas daninhas a taxa variada, visto a variabilidade dos atributos do solo. Estas informações podem ser adquiridas de diversas formas, e com o avanço da agricultura de precisão, a facilidade da aquisição de dados georreferenciado compondo o sistema de informação, seria uma utilidade a mais do grande banco de dados da propriedade, chamado de *big data*.

Destaca-se na geração de informações destes atributos, as plataformas multi-sensores como a da Veris®, as quais fornece informações de atributos do solo, que podem ser consideradas para controle de plantas daninhas.

O Veris®, utilizado na determinação da condutividade elétrica aparente do solo, do pH em H₂O e da matéria orgânica do solo, possui uma resolução espacial alta, considerando uma largura de trabalhos adjacentes em torno de 15m, é uma ferramenta eficiente para conhecimento da variabilidade.

A condutividade elétrica aparente do solo pode ser utilizada em solos com variabilidade espacial de textura do solo, de tal forma que pode ser uma ferramenta para variar a taxa de aplicação visto a adsorção e disponibilidade do produto aplicado nos colóides do solo.

Outra informação importante, porém específica para controle de plantas daninhas, é o banco de sementes de plantas daninhas do solo, no qual pode ser realizado uma coleta de pontos georreferenciados e utilizá-la na prescrição de herbicidas pré-emergentes.

Na figura 17 demonstra-se a aquisição da informação do banco de sementes do solo, no qual o solo é coletado no ponto georreferenciado, posto em bandejas e proporcionadas todas as condições necessárias para a germinação e emergência das sementes, avaliando a quantidade e a espécie da comunidade infestante.



Figura 17 Bandejas com intuito da avaliação do banco de sementes presentes no solo. Bandejas recém coletadas (BS1), bandejas em avaliação de plantas infestante (BS2).

8.6.3 Pós-emergência

A pulverização em pós-emergência das plantas daninhas com objetivo de controlá-las evitando interferência ao longo do ciclo da cultura cultivada deve ser realizada nos períodos críticos de interferência específico de cada cultura.

O período crítico de prevenção da interferência (PCPI), segundo estudos com competição de plantas daninhas na soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é de 20 a 50 DAE (dias após emergência). Para a cultura do milho (*Zea mays L.*), o PCPI está compreendido entre 15 - 20 e 45 - 50 DAE, (Borges, 2011). Para o trigo

(*Triticum aestivum* L.) medidas de controle das plantas daninhas devem ser adotadas no período entre 12 a 24 DAE, (Agostinetto et al., 2008).

Para tanto, é necessário o controle destas plântulas involuntárias que causam perdas nas culturas. Com a tecnologia de sensores, diferente do caso de pulverização em pré-semeadura nos quais a diferenciação é entre solo ou resíduo vegetal, de planta, no caso de pulverização em pós-emergência é necessário a diferenciação da planta cultivada de plantas daninhas.

Como foi visto anteriormente, a vegetação possui uma curva espectral característica, porém certos gêneros, famílias de plantas possuem especificidades em certos comprimentos de ondas que possibilitem esta diferenciação.

Em experimento conduzido em Santa Maria-RS foram avaliadas o comportamento espectral nas regiões do visível e infravermelho próximo de seis espécies de plantas daninhas, as quais são mais comuns no sul do Brasil, e acarretam em perdas por interferência na cultura da soja, são elas: caruru (*Amaranthus hybridus* var. *patulus* Thell), picão-preto (*Bidens pilosa* L.), leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.), corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia* (D.) O'Donell), capim-colonião (*Panicum* sp.), papuã (*Urochloa plantaginea* (Link) R.D.W.) e guanxuma (*Sida rhombifolia* L.).

As avaliações com o espetrorradiômetro HandHeld 2 (ASD[®]), com comprimentos de onda de (325-1075)nm, foram realizadas durante o ciclo da cultura da soja. Foram realizadas leituras da cultura, e leituras das espécies infestantes previamente semeadas, concomitante com a semeadura da soja.

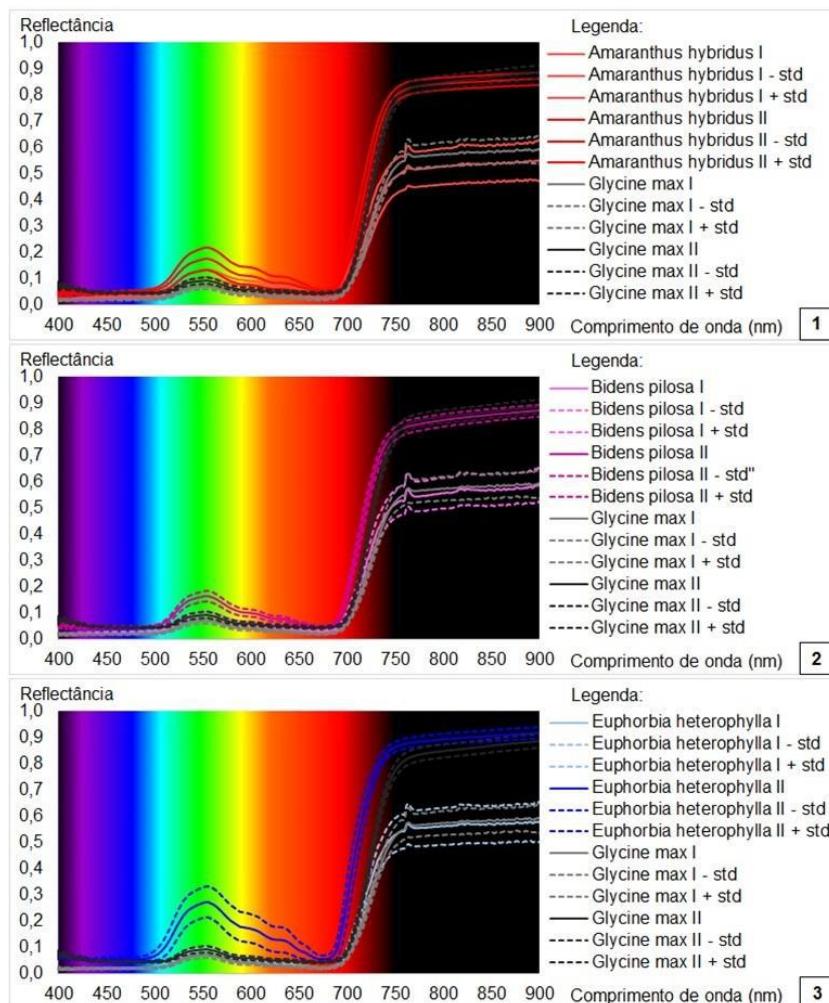
As curvas espectrais obtidas são apresentadas na figura 18. Os comportamentos espectrais das espécies de plantas daninhas foram comparados com a cultura da soja para diferenciação desta, nos estádios de leitura.

As leituras com o espetrorradiômetro foram utilizadas com intuito de selecionar comprimentos de onda com maior amplitude de diferenciação quanto a reflectância da cultura cultivada em relação às espécies infestantes.

Na figura 18 pode-se observar que para o estádio II das plantas daninhas em geral, a reflectância na região do espectro verde é maior que a cultura da soja, sendo explicada pela coloração verde mais clara das espécies de plantas daninhas comparada com a da oleaginosa, a qual apresentava cor verde mais escura.

Também se observa no estádio II na região de transição do vermelho para o infravermelho próximo, no *red-edge*, um deslocamento das curvas espectrais da soja para a direita, sendo este um ponto de diferenciação das plantas daninhas da cultura da soja, já que as espécies de plantas daninhas avaliadas possuem uma taxa de variação da curva alta nos comprimentos de onda menores se comparadas à soja. Desta forma, tem-se em determinados

comprimentos da região *red-edge*, menores valores de reflectância para a cultura da soja em relação as plantas daninhas estudadas.

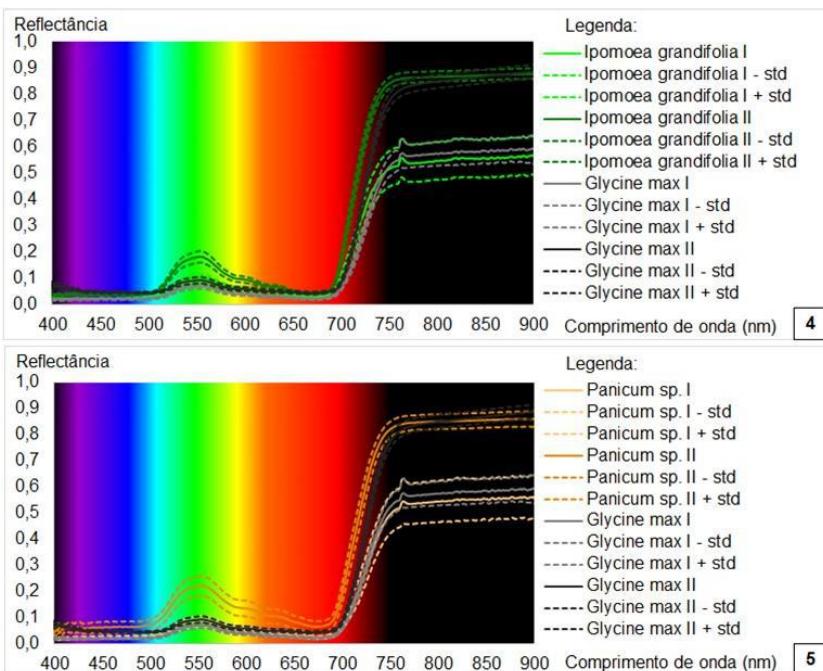


I = estádio inicial da cultura, soja em V4. II = estádio reprodutivo da cultura, soja em R2.

Linha contínua refere-se a média das leituras. n=30.

Linhas pontilhadas referem-se à média mais ou menos std (desvio-padrão).

Figura 18a Comportamento espectral de espécies de plantas daninhas: 1 caruru (*Amaranthus hybridus*), 2 picão-preto (*Bidens pilosa*), 3 leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), 4 corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*), 5 capim-colonião (*Panicum* sp.), 6 papuã (*Urochloa plantaginea*) e 7 guanxuma (*Sida rhombifolia*). Cada gráfico possui a curva espectral da soja e de uma planta daninha.



I = estádio inicial da cultura, soja em V4. II = estádio reprodutivo da cultura, soja em R2.

Linha contínua refere-se a média das leituras. n=30.

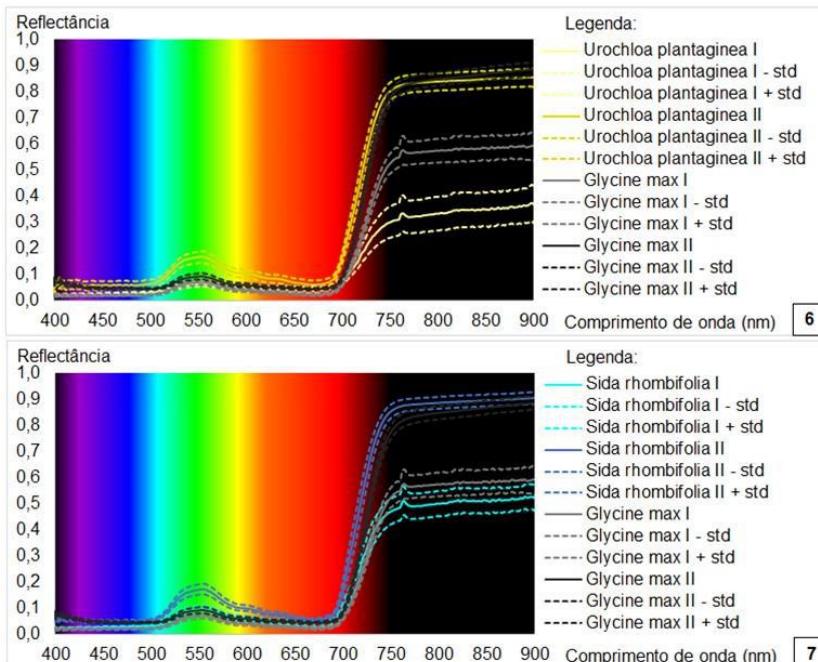
Linhas pontilhadas referem-se à média mais ou menos std (desvio-padrão).

Figura 18b Comportamento espectral de espécies de plantas daninhas: 1 caruru (*Amaranthus hybridus*), 2 picão-preto (*Bidens pilosa*), 3 leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), 4 corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*), 5 capim-colonião (*Panicum sp.*), 6 papuã (*Urochloa plantaginea*) e 7 guanxuma (*Sida rhombifolia*). Cada gráfico possui a curva espectral da soja e de uma planta daninha.

No entanto para o estádio I demostrado na Figura 18, a diferenciação nestas regiões acima descritas torna-se mais difícil, visto a aproximação das curvas espectrais das plantas daninhas com a da cultura da soja.

Alternativa para este inconveniente é a confecção de índices de vegetação que são amplamente utilizados na avaliação do estado nutricional, e na prescrição de doses de fertilizantes nitrogenados. Estes índices teriam objetivo de aumentar a amplitude de diferenciação da cultura cultivada das plantas daninhas através de cálculos que compusessem reflectâncias de comprimentos de ondas selecionados.

Desta forma a confecção de índices com a sensibilidade de diferenciação das plantas daninhas das plantas cultivadas, tornaria possível a identificação e controle dirigido de plantas daninhas em pós-emergência com culturas estabelecidas, *on-the-go*.



I = estádio inicial da cultura, soja em V4. II = estádio reprodutivo da cultura, soja em R2.

Linha contínua refere-se a média das leituras. n=30.

Linhas pontilhadas referem-se à média mais ou menos std (desvio-padrão).

Figura 18c Comportamento espectral de espécies de plantas daninhas: 1 caruru (*Amaranthus hybridus*), 2 picão-preto (*Bidens pilosa*), 3 leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), 4 corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*), 5 capim-colonião (*Panicum sp.*), 6 papuã (*Urochloa plantaginea*) e 7 guanxuma (*Sida rhombifolia*). Cada gráfico possui a curva espectral da soja e de uma planta daninha.

Na figura 19 tem-se valores de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) calculado a partir de valores obtidos da reflectância do equipamento espetrorradiômetro utilizando os comprimentos de onda na região do infravermelho próximo, e na região do vermelho, 770 e 660 respectivamente.

Já na figura 20, é demonstrado os valores do índice selecionado com maior amplitude de diferenciação das plantas daninhas da cultura da soja. Índice gerado pela simples razão da reflectância dos alvos das espécies nos comprimentos de onda da região do red-edge, 730nm, e da região do verde, de 550nm.

NDVI (770:660)															
IG	0,91	PS	0,79	AH	0,79	UP	0,80	SR	0,89	BP	0,88	EH	0,79	GM	0,91
IG	0,90	PS	0,87	AH	0,87	UP	0,88	SR	0,87	BP	0,88	EH	0,73	GM	0,90
IG	0,91	PS	0,88	AH	0,82	UP	0,86	SR	0,88	BP	0,89	EH	0,88	GM	0,90
IG	0,91	PS	0,75	AH	0,88	UP	0,90	SR	0,89	BP	0,88	EH	0,88	GM	0,89
IG	0,90	PS	0,85	AH	0,86	UP	0,87	SR	0,87	BP	0,89	EH	0,87	GM	0,90
IG	0,90	PS	0,86	AH	0,87	UP	0,80	SR	0,87	BP	0,89	EH	0,86	GM	0,91
IG	0,91	PS	0,91	AH	0,90	UP	0,83	SR	0,88	BP	0,89	EH	0,83	GM	0,92
IG	0,92	PS	0,81	AH	0,89	UP	0,88	SR	0,88	BP	0,88	EH	0,89	GM	0,88
IG	0,91	PS	0,87	AH	0,85	UP	0,86	SR	0,89	BP	0,86	EH	0,78	GM	0,91
IG	0,91	PS	0,75	AH	0,88	UP	0,90	SR	0,87	BP	0,87	EH	0,88	GM	0,89
IG	0,90	PS	0,87	AH	0,89	UP	0,86	SR	0,89	BP	0,89	EH	0,89	GM	0,92
IG	0,91	PS	0,79	AH	0,89	UP	0,87	SR	0,87	BP	0,88	EH	0,86	GM	0,89
IG	0,90	PS	0,86	AH	0,88	UP	0,84	SR	0,89	BP	0,88	EH	0,84	GM	0,90
IG	0,91	PS	0,87	AH	0,89	UP	0,80	SR	0,88	BP	0,88	EH	0,89	GM	0,91
IG	0,91	PS	0,86	AH	0,89	UP	0,91	SR	0,89	BP	0,87	EH	0,87	GM	0,92
IG	0,89	PS	0,86	AH	0,87	UP	0,91	SR	0,87	BP	0,86	EH	0,86	GM	0,90

Figura 19 Quadro com valores do índice NDVI (770:660) calculado para cada espécie. IG (*Ipomoea grandifolia*), PS (*Panicum sp.*), AH (*Amaranthus hybridus*), UP (*Urochloa plantaginea*), SR (*Sida rhombifolia*), BP (*Bidens pilosa*), EH (*Euphorbia heterophylla*) e GM (*Glycine max*). n=16

Realizando uma análise de variância e utilizando teste de separação de média proposto por Tukey (1953), demonstrado na figura 21, pode-se observar a capacidade de alguns índices em diferir a cultura cultivada soja das plantas daninhas, que é o caso do Simple ratio (730:550). Outros índices têm alguma similaridade na reflectância dos comprimentos de onda da soja e das plantas daninhas que compõem a equação do índice, que acarreta em dificuldade de diferenciação dos mesmos.

8.7 Tecnologias embarcadas e automação agrícola

Pulverizadores com tecnologias embarcadas tem aumentado muito nos últimos anos, desde tecnologia de posicionamento da pulverização, até tecnologias mais aplicadas com objetivo de aumentar a eficiência e acurácia nos trabalhos.

Tecnologias de desligamento de seção tem ganhado espaço no mercado agrícola, visando a diminuição da sobreposição de produtos pulverizados que geram consequências tanto econômicas, no qual se tem um maior consumo de produto, agronômicas, podendo ocasionar problemas com a

utilização do solo e também injúrias na cultura cultivada, e ambientais ocasionando distúrbios na fauna e flora presente.

Simple ratio (730:550)															
IG	5,90	PS	5,00	AH	4,70	UP	5,50	SR	6,00	BP	6,00	EH	3,90	GM	7,40
IG	5,80	PS	5,50	AH	5,60	UP	5,80	SR	6,00	BP	6,20	EH	3,50	GM	6,90
IG	6,10	PS	5,80	AH	4,70	UP	5,80	SR	6,10	BP	6,30	EH	5,10	GM	7,10
IG	6,10	PS	4,40	AH	5,90	UP	5,70	SR	6,30	BP	5,80	EH	5,10	GM	6,90
IG	5,50	PS	4,90	AH	5,90	UP	5,60	SR	5,80	BP	6,20	EH	5,30	GM	7,10
IG	6,00	PS	4,90	AH	5,70	UP	5,50	SR	5,80	BP	6,40	EH	5,50	GM	7,30
IG	6,20	PS	6,40	AH	6,50	UP	5,70	SR	6,50	BP	6,40	EH	4,80	GM	7,00
IG	6,30	PS	4,90	AH	6,30	UP	6,20	SR	6,30	BP	6,30	EH	5,80	GM	6,50
IG	6,40	PS	5,20	AH	4,80	UP	5,90	SR	6,40	BP	5,70	EH	3,90	GM	7,40
IG	5,50	PS	4,40	AH	5,90	UP	6,20	SR	5,90	BP	5,80	EH	5,40	GM	6,90
IG	5,40	PS	5,20	AH	6,10	UP	5,80	SR	6,30	BP	6,00	EH	5,30	GM	7,40
IG	6,20	PS	4,80	AH	5,90	UP	5,60	SR	6,00	BP	5,80	EH	4,80	GM	7,20
IG	6,30	PS	5,10	AH	5,90	UP	5,90	SR	6,00	BP	5,90	EH	4,40	GM	7,20
IG	5,80	PS	5,20	AH	5,70	UP	5,60	SR	5,80	BP	6,10	EH	5,50	GM	7,20
IG	6,00	PS	5,30	AH	6,30	UP	6,80	SR	6,20	BP	6,00	EH	5,30	GM	7,30
IG	5,40	PS	5,20	AH	5,60	UP	5,90	SR	5,70	BP	5,70	EH	4,70	GM	7,10

Figura 20 Quadro com valores do índice Simple ratio (730:550) calculado para cada espécie. IG (*Ipomoea grandifolia*), PS (*Panicum* sp.), AH (*Amaranthus hybridus*), UP (*Urochloa plantaginea*), SR (*Sida rhombifolia*), BP (*Bidens pilosa*), EH (*Euphorbia heterophylla*) e GM (*Glycine max*). n=16

NDVI (770:660)			Simple ratio (730:550)		
Espécie	Média	Tukey	Espécie	Média	Tukey
IG	0,91	a	GM	7,12	a
GM	0,9	ab	SR	6,07	b
SR	0,88	abc	BP	6,04	b
BP	0,88	abc	IG	5,93	b
AH	0,87	abc	UH	5,84	b
UH	0,86	bc	AH	5,72	bc
EH	0,85	c	PS	5,14	cd
PS	0,84	c	EH	4,89	d
CV	3,41%		CV	11,32%	

Figura 21 Teste de separação de médias dos índices calculados. p<0,001. IG (*Ipomoea grandifolia*), PS (*Panicum* sp.), AH (*Amaranthus hybridus*), UP (*Urochloa plantaginea*), SR (*Sida rhombifolia*), BP (*Bidens pilosa*), EH (*Euphorbia heterophylla*) e GM (*Glycine max*). n=16

Neste mesmo sentido a ferramenta de desligamento com controle bico a bico tem-se mostrado vantajosa, visto seu objetivo de diminuição da sobreposição e também da possibilidade de pulverização de forma dirigida para controle de plantas daninhas.

Barras de pulverização com múltiplas ponteiras de distintos bicos também é uma forma de controle de precisão e possibilita mudança facilitada de bicos tanto em um novo trabalho, quanto a partir de mudanças nas condições de pulverização, como a exemplo, nível de dossel de plantas, alterações de produtos e condições climáticas da operação.

Pulverizadores com estação meteorológica embarcada também favorece a precisão da pulverização, visto que as condições climáticas são as variáveis com maior variação durante o trabalho de pulverização. Visto que computadas junto com a recomendação de trabalho, poderá aumentar a capacidade de trabalho diário, e aumentar a eficácia do trabalho.

Outra ferramenta importante a destacar é a utilização de VANT (veículo aéreo não tripulado) para gerar informações da comunidade infestante da área agrícola, bem como atuando com automação, sensores embarcados capazes de diagnosticar a ocorrência de plantas daninhas e com sistema de pulverização instalado obter seu controle de forma dirigida.

No mesmo sentido, robôs com sensores previamente instalados capazes de mapear a ocorrência de plantas daninhas, identificá-las, e realizar o controle com o produto indicado, estão se difundindo nos dias atuais.

Outra perspectiva são equipamentos de plataforma com múltiplos sensores, sensores de plantas daninhas, de vegetação, identificação de insetos, estado nutricional das plantas, sensores de condutividade elétrica aparente do solo, entre outras, para que com um único equipamento seja possível levantar maior quantidade de dados da propriedade, podendo gerenciá-la de forma precisa.



Figura 22 VANT em pulverização (1), robô com plataforma com múltiplos sensores (2).
Fonte: Foto publicada no Canaltech (1). Foto Dr. ir. Ard Nieuwenhuizen (2).

8.8 Considerações Finais

O avanço da tecnologia das máquinas agrícolas e o crescente uso de sensores na agricultura possibilitarão o uso mais eficiente de insumos agrícolas, trazendo vantagens no âmbito social, ambiental e econômico.

Os sensores são capazes de diferir alvos agrícolas e não-agrícolas através da distinção na assinatura espectral, possibilitando controle de plantas daninhas em sítio-específico, tanto diferenciando de solo, resíduos vegetais, concreto, quanto da cultura econômica cultivada.

As tecnologias de pulverização dirigida de pré-semeadura e pré-emergência tendem a aumentar rapidamente, enquanto as tecnologias de pulverização em pós-emergência com sensores nas barras de pulverizadores comerciais dado o seu custo demandarão um maior tempo para serem adotadas em escala comercial, porém possuem um forte apelo ambiental.

A utilização de informações contidas no *big data*, podem aprimorar a prescrição da taxa variada da pulverização em pré-emergência de plantas daninhas.

Referências bibliográficas

- ALCHANATIS, V., RIDEL, L., HETZRONI, A., & YAROSLAVSKY, L. **Weed detection in multi-spectral images of cotton fields.** Computers and Electronics in Agriculture, 47, 243–260, 2005.
- ANTUNIASSI U. R.; BAIO, F. H. R. **Tecnologia de aplicação de defensivos.** Manual de manejo e controle de plantas daninhas.
- CASTRO, A. I. at al. **Applying neural networks to hyperspectral and multispectral field data for discrimination of cruciferous weeds in winter crops.** The Scientific World Journal. Vol 2012, p. 11.
- CRUVINEL, P. E.; KARAM, D.; BERALDO, J. M. G. **Agricultura, precisão e manejo de plantas invasoras na cultura do milho.** Agricultura de Precisão Resultados de um Novo Olhar. 1^a Edição, p. 135-156, 2014.
- DAMMER, K. H.; WARTENBERG, G. **Sensor-based weed detection and application of variable herbicide rates in real time.** Crop Protection 26, 270-277, 2007.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development.** Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Especial Report, 80).
- GALON et al. **Nível crítico de dano de infestantes na cultura da cana-de-açúcar.** Cap 3: Teoria e prática do manejo de infestantes na cultura da cana-de-açúcar no Brasil. Vidal R., 2011.

HARRI L. **Manual de Identificação e Controle de Plantas Daninhas.** UFV 7^a Edição.

HEISEL, T.; CRISTENSEN, S.; WALTER, A. M. **Weed managing model for patch spraying in cereal.** In: International conference on precision agriculture, 3, Minneapolis, Proceedings. Wisconsin: ASA: CSSA: SSSA, 1996b. p.999-1007.

HERRMANN, I et al. **Ground-level hyperspectral imagery for detecting weeds in wheat fields.** Precision Agriculture v.14 n 3, 2013.

HESTIR, E. L. et al. **Identification of invasive vegetation using hyperspectral remote sensing in the California Delta ecosystem.** Remote Sensing of Environment, 4034-4047, 2008.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão.** Agricultura de Precisão Resultados de um Novo Olhar. 1^a Edição, p. 109-134, 2014.

NKOA, R.; OWEN, M. D. K.; SWANTON, C. J. **Weed Abundance, Distribution, Diversity, and Community Analyses.** Weed Science, Special Issue: 64-90, 2015.

QUEIROZ C. A. S. **Desenvolvimento e avaliação de pulverizador florestal com detecção eletrônica de plantas daninhas e aplicação em doses variáveis.** Tese da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, 2005.

ROSSEL, R. A. V.; ADAMCHUK, V. I.; SUDDUTH, K. A.; MCKENZIE, N.J.; LOBSEY, C. **Proximal Soil Sensing: Na effective approach for soil measurements in space and time.** Advances in Agronomy. v.113, p. 237-282, 2011.

SANTI, A. L. et al. **Phytosociological variability of weeds in soybean field.** Planta Daninha, v.32, n. 1, p. 39-49, 2014.

SECO, M. A. O. **Comportamento espectral de plantas como ferramenta de determinação metodológica para monitoramento de espécies invasoras.** Tese no programa de pós-graduação de Doutorado em Geografia da UEM, 2014.

SHIRATSUCHI L. S. et al. **Mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas.** 1^o Edição, 2003.

SHIRATSUCHI L. S. MOLIN, J.P. E CHRISTOFFOLETI, P.J. **Mapeamento da distribuição espacial da infestação de *Panicum maximum* durante a colheita da cultura de milho.** Planta daninha, n.2, p. 269-274, 2004.

THORP, K. R., & TIAN, L. F. **A review on remote sensing of weeds in agriculture.** Precision Agriculture, 5, 477–508, 2004.

VILELA, M.F. et al. **Mapeamento da distribuição espacial de plantas daninhas no sistema milho-soja por meio de fotografias aéreas não convencionais.** In: Congresso Brasileiro de Ciência das Plantas Daninhas, 25, 2006, Brasília, CD. Embrapa Cerrado, 2006. 4p.

CAPÍTULO 9

Benefícios do tráfego controlado de máquinas no Rio Grande do Sul¹

Vitor Cauduro Girardello², Telmo Jorge Carneiro Amado³,
Paulo José Alba⁴, Tiago De Gregori Teixeira⁵

Resumo

A agricultura atual exige cada vez mais a profissionalização dos processos produtivos, pequenos detalhes são o diferencial para que se consiga produtividade necessária para a manutenção do homem ao campo. Neste contexto de inovação e busca de alternativas viáveis para aumentar a eficiência na agricultura é que surge o sistema de tráfego controlado, que tem como conceito de controlar, disciplinar o tráfego de máquinas dentro da lavoura, criando locais específicos de trânsito dentro da área, isolados do restante da lavoura que ficam livres deste trânsito, evitando assim o tráfego aleatório dentro da lavoura. Para determinar a eficiência deste sistema instalou-se um experimento na cidade de Não Me Toque, RS em um Latossolo Vermelho com elevado teor de argila (>60%) durante dois anos agrícolas, nos quais foi cultivada a cultura do milho no ano de 2010/11 e da soja no ano 2011/12. Os tratamentos investigados foram: Sem tráfego; (b) Tráfego com passagem de pneus do pulverizador; (c) Tráfego de pneus com o conjunto trator-semeadora; e (d) Tráfego máximo, acumulando passagens de pneus do pulverizador e do conjunto trator-semeadora. Avaliou-se repetibilidade e paralelismo das linhas de semeadora, a densidade, macroporosidade, infiltração de água no solo, resistência do solo à penetração, sistema radicular, produtividade. A repetibilidade e paralelismos das linhas de semeadura oscilaram entre 0,011 e 0,018 m nas operações em retas e nas operações em curva 0,027 e 0,024 m, nos dois anos avaliados. A infiltração de água reduziu em até 22 vezes e a macroporosidade 46% nos locais onde existiu o tráfego máximo, em relação a área sem tráfego. Ainda se observou aumento na densidade e na resistência a penetração de 15 e 79% respectivamente nos locais com tráfego máximo dos equipamentos em relação a área sem tráfego. A produtividade sofre redução de até 25,4 e 42,6% nas culturas do milho e da soja respectivamente nas áreas com tráfego de máquinas.

¹ Parte da tese de doutorado do primeiro autor.

² Pós-doutorando. UTFPR-DV/ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos. Estrada para Boa Esperança, km 04, Dois Vizinhos, PR. E-mail: vitorgirardello@gmail.com

³ Professor Titular, UFSM, Departamento de Solos/ Universidade Federal de Santa Maria, Campus sede. Av. Roraima nº 1000, Santa Maria – RS. E-mail: florestatel@hotmail.com

⁴ Engenheiro Agrônomo. Rua Tiziú, nº138, Portal da Foz, Foz do Iguaçu, PR. E-mail: pjagro@yahoo.com.br

⁵ Pós-graduando. UFSM - PPGCS/ Universidade Federal de Santa Maria, Campus sede. Av. Roraima nº 1000, Santa Maria – RS. E-mail: tiagod.teixeira@gmail.com

Palavras-chave: agricultura de precisão, compactação, cr campeiro, piloto automático, propriedades físicas do solo, tráfego de máquinas

Benefits of controlled traffic farming in Rio Grande do Sul

Abstract

The current agriculture requires increasingly professionalization of productive processes. Small details are the differential factors to achieve productivity necessary for maintaining men working on the agriculture activity. In this context of innovation and searching for viable alternatives to increase efficiency in agriculture is where arises the controlled traffic system. The controlled traffic farming comes up with the concept of controlling in order to discipline machinery traffic within the farm, creating specific traffic paths in the area, isolated from the crops field, keeping them free of this influence, and this way avoiding random traffic within the crop. In order to determine efficiency of this system, a trial was conducted in Nao Me Toque, RS-Brazil. Corn was grown during the season 2010/2011 while soybean was grown during the season 2011/2012. Both crops were cultivated on a high clay content (>60%) Oxisol. The treatments were: no traffic; (b) Sprayer tires traffic; Tractor-planter set tires traffic; and (d) Maximum traffic (Sprayer + tractor-planter set tires traffic). It was evaluated planter lines repeatability and paralelism, density, macroporosity and water infiltration in the soil, penetrometer resistance, roots system and yield. Planter lines repeatability and paralelism varied from 0,011 to 0,018 m in straight operation while in curve operations the variation ranged from 0,027 to 0,024 m, in both seasons of evaluation. Water infiltration decreased in 22 times and macroporosity in 46% under "Maximum traffic" treatment in relation to "No traffic" treatment. Also, an increase of 15% in soil density and 79% in soil penetrometer resistance was observed in soils under "Maximum traffic" in relation to "No traffic" treatment. There was a decrease in yield of up to 25,4% in corn and 42,6% in soybean on areas of machinery traffic.

Keywords: auto guide, compaction, cr campeiro, precision agriculture, soil property physical, traffic machines

9.1 Introdução

A agricultura atual exige cada vez mais a profissionalização dos processos produtivos, pequenos detalhes são o diferencial para que se consiga produtividade necessária para a manutenção do homem ao campo. A pressão pelo aumento da produtividade associado com o melhor aproveitamento dos recursos naturais tais como, o melhor aproveitamento da água, menor contaminação ambiental com o uso de agroquímicos, menor degradação de solo, principalmente devido à erosão, são questões que vem sendo discutida pela sociedade atualmente, encontrando respaldo no sistema de plantio direto (SPD) e mais recentemente o uso da agricultura de precisão (AP) uma alternativa viável.

O conceito central da AP é a identificação e o tratamento diferencial da variabilidade espacial e temporal existente no solo e nas plantas, tratando as

regiões dentro da lavoura de forma única e diferencial (Amado et al., 2007). No Brasil os primeiros trabalhos com esta tecnologia foram relatados por Molin (1997) e Balastriere (1997) onde buscavam identificar e entender a variabilidade espacial e temporal do solo e suas correlações com a produtividade das culturas, avaliando os atributos químicos, físicos e biológicos. Atualmente o uso de robótica, manejo individualizado de plantas dentro da lavoura e sistema de controle de tráfego são vêm sendo estudados com maior ênfase, possuindo elevado potencial de utilização (Godwin, 2009).

Nos últimos 70 anos, as máquinas agrícolas tiveram um elevado desenvolvimento (Figura 1). O uso da tecnologia embarcada nas máquinas atuais proporciona maior conforto para operadores, maior precisão e qualidade nos processos produtivos, maior rendimento operacional, porem isso tudo vem acompanhada pelo aumento do tamanho, peso e da tensão imposta no solo pelas máquinas agrícolas (Trein et al., 2009).

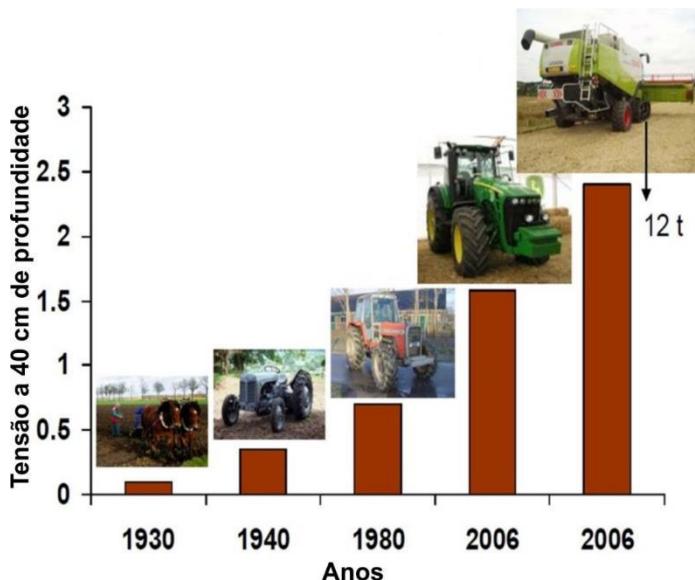


Figura 1 Evolução do tamanho e do peso de máquinas agrícolas desde o ano de 1930 até os dias atuais (Fonte: Trein, 2009).

Este aumento no peso das máquinas, associado com o aumento da intensidade de tráfego dentro da lavoura, acaba por ocasionar a formação de camadas compactadas no solo, modificando assim a sua estrutura, gerando menor desenvolvimento e redução na produtividade das culturas, especialmente em anos com ocorrência de déficit hídrico severo (Figura 2). Quando o tráfego acontece em condições de elevada umidade do solo, seus efeitos negativos são

maximizados. Neste aspecto as operações com os pulverizadores auto propelidos são potencialmente as maiores responsáveis pela formação de camadas compactadas.



Figura 2 Esquema representativo da influência da compactação nas funções desempenhadas pelo solo. Fonte: Adaptado de Boone (1986).

A compactação, existente no SPD é influenciada em maior ou menor grau pelas características das máquinas que transitam nas lavouras (peso, área de contato com o solo), pela quantidade de tráfegos e pelo conteúdo de água no solo. Camadas compactadas na superfície do solo, são oriundas da pressão de contato entre o pneu e o solo, já na subsuperfície, abaixo de 0,3 m, estão relacionadas ao peso total sobre o rodado, em qualquer um dos casos, a compactação só ocorre se a tensão exercida pelos rodados ultrapassar a resistência do solo à deformação (Raper, 2005).

Neste contexto surge o sistema de tráfego controlado, uma vez que a prevenção e o confinamento da compactação em locais específicos parecem ser a melhor forma evitar as perdas de produtividade causadas pelo tráfego de máquinas dentro da lavoura (Chamen, 2011). O sistema propõe a organização do tráfego de máquinas dentro da lavoura, de forma que o trânsito seja confinado em linhas/locais pré-definidos, que recebem o nome de “Tramlines” (Figura 3). Desta forma restringindo, a compactação a locais específicos (Gassen, 2011),

buscando manter a área de tráfego permanentemente separadas da área livre de trânsito (Chamen et al., 1992, Raper & Kirby, 2006)

Este sistema já vem sendo estudado e aplicado comercialmente em países como Austrália, Estados Unidos, Inglaterra, Argentina, Canada entre outros. Atualmente, a área com adoção do tráfego controlado mundialmente alcança mais de 2 milhões de ha, especialmente, em regiões onde a precipitação pluviométrica é restrita e existe a necessidade de elevada armazenagem de água no solo (Tulberg et al., 2007). No Brasil sua maior aplicação é na cultura da cana de açúcar. Na produção de grãos, seu estudo e sua aplicação são incipientes, principalmente na região sul e centro oeste do país.



Figura 3 Tramlines dentro da uma área experimental em Harper Adams University, Reino Unido. Fonte: Girardello, 2013.

9.2 Implantação do sistema

Fundamentalmente é necessário o uso de diversas ferramentas utilizadas na AP, tais como sistema de piloto automático (PA), sistema de informações geográficas (SIG), receptores e corretores de sinais (GPS, DGPS e RTK), que quando utilizados de maneiras conjunta, possibilitam maior precisão e acurácia no planejamento e execução a campo das linhas de semeadura e tráfego dentro da lavoura (Bochtis & Vougioukas, 2008).

O sistema de tráfego controlado se inicia no ajuste do maquinário disponível (Figura 4). O primeiro passo é observar e ajustar o número de linhas da semeadora, largura de corte na colheitadeira e largura de barras no pulverizador. Assim os locais de ocorrência de tráfego são definidos e utilizados por todos os equipamentos envolvidos no processo produtivo.

As máquinas disponíveis no mercado nacional permitem, em geral, a utilização de dois grupos em relação à largura de trabalho, que recebem o nome de módulos. Assim, atualmente é possível o uso de módulos de 3 ou 4 m, de forma que todas as operações sejam realizadas coincidindo o tráfego no mesmo local.

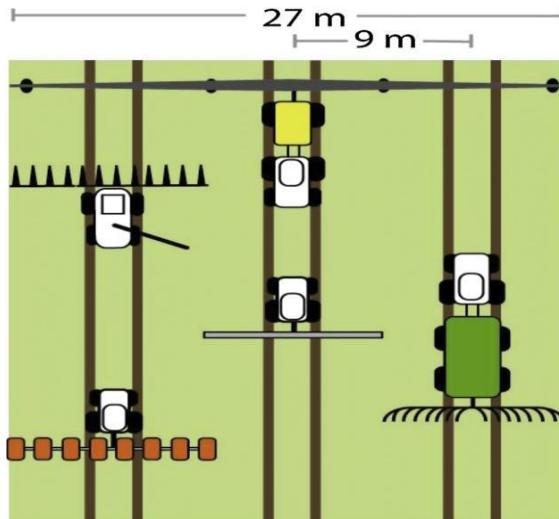


Figura 4 Modelo conceitual do sistema de tráfego controlado com módulos de 3 m. Fonte: Bochtis et al. (2010).

9.3 Procedimento para a instalação do sistema

A implantação do sistema deve obedecer algumas regras, sendo a primeira a ser seguida o levantamento planialtimétrico da área. Este levantamento recebe o nome de Modelo Digital de Elevação (MDE) e a base de dados gerados por ele é fundamental para o planejamento das atividades (EMBRAPA, 2012).

Os objetivos deste primeiro processamento é a determinação do sentido de semeadura, dos locais de manobra, entrada e saída do talhão, planejando as linhas de semeaduras de modo a fazer a bordadura no final dos trabalhos evitando a pressão dos pneus em áreas já semeada como ocorre no normalmente nas operações de semeadura, ainda alternando as linhas de semeadura diminuindo a quantidade de manobras nas operações (Figura 5).

O MDE é composto por coordenadas geográficas em três dimensões (X, Y e Z) e, para tanto faz-se necessário o sinal de pelo menos quatro satélites, ainda para se obter maior acurácia neste levantamento, é necessária a utilização de pelo menos DGPS que reduz o erro de posicionamento para aproximadamente 0,10 m. Já a utilização do sistema de RTK (Real Time Kinematic) consiste em um conjunto de equipamentos acoplados a máquina agrícola seja por sistema hidráulico ou direção elétrica, conectado a uma tela com processador que recebe a informação de posicionamento de um receptor GNSS e de uma base fixa a qual executa a operação precisão de até 0,025 m.

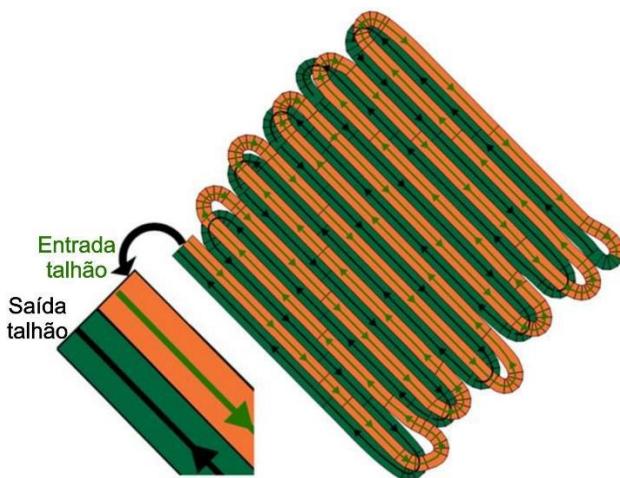


Figura 5 Execução da semeadura seguindo linhas planejadas, alternando as passadas de semeadura visando o mínimo de manobra na área. Fonte: Alba et al., 2011.

Após a obtenção a cota real dos pontos que compõem o grid (“raster”), realiza-se a geração virtual das linhas de semeadura. O sistema de tráfego controlado necessita de uma precisão centimétrica e por isso faz-se necessário utilizar DGPS (Differential Global Positioning System) tem como função reduzir o erro encontrando no sinal do GPS (Global Positioning System) que pode atingir até 10 metros, para um erro de aproximadamente 0,02 metros com a sua utilização (Kroulík et al., 2010).

Ainda, segundo (Kroulík et al., 2010) deve-se observar o tempo entre dois passos consecutivos, se ele for maior que 15 minutos, o erro de tempo de deslocamento tem que ser levado em consideração e somente o sinal do RTK terrestre pode garantir estabilidade de tempo, e a repetibilidade das operações.

Além do levantamento da cota real nas extremidades da área, é importante que o mesmo seja feito em pontos centrais observando a topografia do terreno, buracos, ou mesmo outros obstáculos para o trânsito das máquinas, pois na etapa de pós-processamento dos dados estas informações serão utilizadas na geração do MDE (Alba et al., 2011).

Após a obtenção destes pontos, com auxílio de softwares específico para AP, começa a geração virtual das linhas de semeadura, linhas permanentes para o tráfego do pulverizador, planejamento sobre os locais de descarga de grãos entre outras operações sujeitas a serem realizadas nas operações de semeadura, manejo e colheita.

9.4 Ajuste de bitolas

O segundo passo para a implantação do sistema, é a que exige maior cuidado e complexidade, é o ajuste da bitola dos rodados de todas as máquinas envolvidas no sistema (Alba et al., 2011). A bitola é definida como sendo a distância entre o centro do pneu até o centro do pneu oposto. Este ajuste vai possibilitar que se forme um padrão de distâncias e de repetibilidade das operações durante a execução das operações por vários anos subsequentes.

Além disso, o ajuste de bitolas permite a melhoria nas condições de tráfego quando o solo apresentar maior teor de água, aumentando a eficiência de tração e melhorando a relação solo-máquina (Kingwell & Fuchsbieler, 2011), possibilitando assim que sejam feitas operações agrícolas fora das condições ideais de umidade do solo, especialmente em se tratando do controle de pragas e doenças, que necessitam em alguns casos serem feitos imediatamente após eventos de precipitação.

A largura nominal de trabalho vai depender basicamente do tipo de maquinário disponível e da cultura que vai ser cultivada. Em geral opta-se por larguras de 3 m ou múltiplas. Porém, como este é um processo contínuo de adaptações e estudos, existe a possibilidade de alterar este espaçamento para 4 m conforme o descrito por (Kroulík et al., 2010).

Em geral os pulverizadores auto propelidos apresentam maiores possibilidades e facilidade para realizar este ajuste. Ao saírem de fábrica, sua configuração possibilita diversas opções de bitolas. Algumas máquinas e equipamentos mais antigos exigem adaptações mais robustas para este ajuste (Figura 6).



Figura 6 Adaptação realizada para que se obtenha a mesma bitola dos demais equipamentos utilizados no sistema de tráfego controlado. Foto: Larocque, 2015.

9.5 Uso do sistema de orientação e pilotos automáticos

O sistema piloto automático (PA) é uma evolução do sistema de barra de luzes para marcação das linhas de pulverização. Neste sistema o operador é parte ativa do sistema e toma a decisão baseada em luzes de instaladas em

frente no seu campo de visão que orientam o sentido e a intensidade da mudança de direção, pelo fato de ser uma operação manual, está sujeita a erros que podem comprometer a eficiência destas operações (Baio & Antuniassi, 2003).

A evolução dessa técnica é representada pelo conceito de PA, que utiliza sinal de satélites com correção diferencial. O posicionamento do veículo é corrigido automaticamente por atuadores no volante, também chamados de piloto automáticos de ação mecânica ou roda de atuação acoplável ao volante (Figura 7 A). Porém mudanças de direção emergencial são feitas manualmente, bastando o operador retomar o controle (OLIVEIRA & MOLIN, 2011). Atualmente o mercado possibilita que as manobras de cabeceiras (retorno a linha de semeadura) sejam realizadas com atuação total do PA.

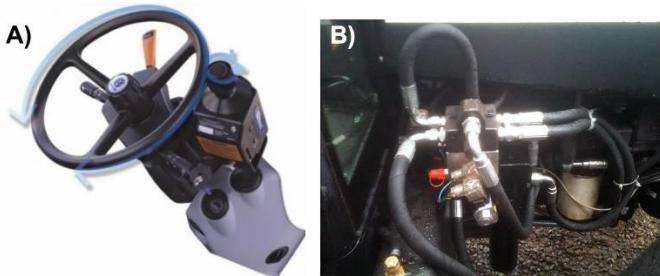


Figura 7 Atuadores auxiliares de direção de atuação mecânica (A) e de atuação no sistema hidráulico de direção (B).

Outro sistema de PA é o que atua diretamente no sistema através de uma válvula eletro-hidráulica instalada diretamente no controle das rodas direcionais, possuindo maior tecnologia embarcada (Figura 7 B). Este sistema possibilita maior precisão nas operações que o mecânico, porém seu custo é maior (Kroulík et al., 2010).

O PA possibilita que sejam feitas as operações de manejo (pulverização) com maior qualidade que atualmente ganha importância na agricultura devido a diversos fatores positivos tais como: Menos impacto sobre o meio ambiente (redução de compactação do solo), redução de custos, devido a menores sobreposições entre os passes laterais (Cordesses et al., 2000).

Ainda observa-se a melhoria no rendimento operacional, velocidades de operações mais altas, operações podem ser realizadas durante a noite, em épocas de maior demanda (Dunn et al., 2006), melhoria na qualidade de operação, pois o operador pode concentrar a atenção em outros lugares para garantir uma melhor qualidade do trabalho a ser realizado, reduz a fadiga do operador e de maneira geral reduz a interferência do fator humano nas operações (Han et al., 2004).

9.6 Paralelismo de linhas de semeadura

Na AP o nível de sofisticação está diretamente relacionado ao custo, qualidade do equipamento e das operações desejadas. Atualmente existe no mercado uma vasta gama de equipamentos, sendo o produtor e seu técnico os responsáveis pelas escolhas.

Medir paralelismo é um excelente parâmetro para se conhecer o nível de desempenho oferecido, no intuito de melhor adequar o equipamento às necessidades do usuário, contribuindo para um uso racional da tecnologia, neste sentido planejamento entre o uso de PA, mantendo o princípios conservacionistas proposto por Alba et al. (2011) para que se faça a semeadura da área em diferentes sentidos de operação é uma alternativa eficiente (Figura 8).

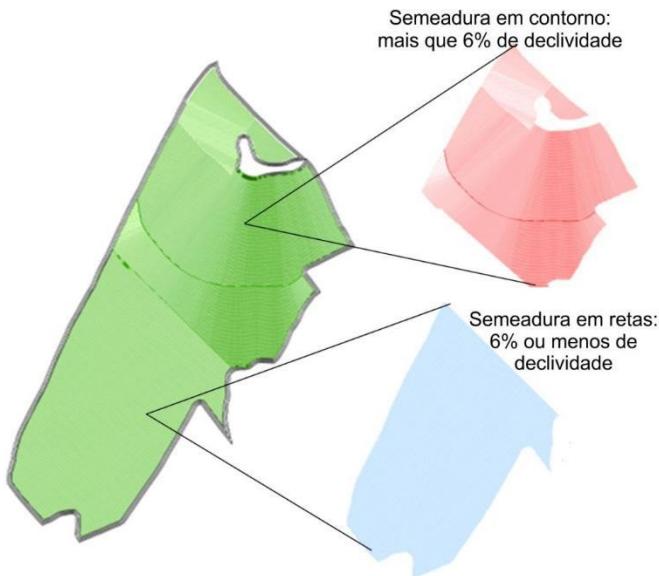


Figura 8 Planejamento das linhas de semeadura, separando em linhas retas (locais com até 6% de declividade) e linhas curvas (em contorno, locais com mais de 6% de declividade). Adaptado de Alba et al., 2011.

Outra vantagem é a questão sobre a melhoria na qualidade de aplicação de defensivos agrícolas, pois as plantas estão na mesma distância e assim a arquitetura melhora, melhor incidência solar, bem como os produtos conseguem atingir o alvo de maneira mais eficiente e com mais cobertura.

9.7 O Sistema de Tráfego Controlado

As vantagens do sistema de tráfego controlado citadas por (Chamen et al., 1992; Trein et al., 2009) são: menor área de solo recebe influência negativa do rodado das máquinas e equipamentos. Menor consumo de combustível e força requerida para o deslocamento das máquinas envolvidas no sistema. Menor o risco do surgimento da compactação superficial e subsuperficial aleatoriamente dentro da lavoura. Menor perda de solo e de água, devido à ausência da compactação. Menor distância total percorrida pelas máquinas dentro da área. Maior eficiência na logística e no trânsito dentro da lavoura. Maior produtividade das culturas nos locais livres de trânsito. Melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Por outro lado, as principais desvantagens citadas pelos mesmos autores são: Custo financeiro elevado para a obtenção dos sistemas de localização geográfica (GPS, DGPS, RTK). Softwares específicos para AP podem representar alguma dificuldade de aquisição em função do seu valor financeiro e do elevado conhecimento das pessoas envolvidas neste processo. Necessidade do ajuste de bitola das máquinas. Formato e topografia do talhão influenciam a implantação do sistema, quanto mais regular e maior uniformidade do relevo, mais fácil é o planejamento, a implantação das linhas de semeadura e o funcionamento do sistema de tráfego controlado.

Em experimentos conduzidos na Inglaterra ficou comprovado o aumento de produtividade de diversas culturas (batata, trigo, cevada), que variou de 4 a 20%, e a economia energética, que variou de 37 a 70%. Ainda se determinou que distância percorrida pelas máquinas dentro da lavoura pode ter reduções de 25% a 47%, devido a minimização de manobras (Chamen et al., 1992).

Na Austrália, produtividades relatadas por Tulberg et al. (2007) durante seis anos com nove safras diferentes (sorgo, trigo e milho) apresentaram em média um incremento de 23%, quando o tratamento livre de trânsito foi comparado com os locais com compactação extra causa pelo passe de máquinas. Recentemente Chamen (2011) verificou que ocorreu redução de até 15% na produtividade das culturas submetidas ao tráfego, em solos com elevada umidade, de máquinas de até 10 Mg.

No Brasil, ainda é incipiente estudos sobre a viabilidade do tráfego controlado, principalmente nas culturas de grãos. Neste sentido buscando preencher esta lacuna o grupo de pesquisa do projeto Aquarius (www.ufsm.br/projetoaquarius) planejou e desenvolveu a partir do ano de 2010 a instalação de um sistema de tráfego controlado em área comercial com cultura de grãos.

9.8 Estudo de Caso – Projeto Aquarius

O projeto de tráfego controlado foi conduzido em uma das áreas pioneiras do Projeto Aquarius, no município de Não-Me-Toque, na propriedade Fazenda Anna. O talhão é manejado com AP desde o ano de 2000, possui 125 ha e está situado nas coordenadas de latitude -28 30' 37,41"(S) e longitude -52 46' 55,84' (W)', seguindo o Datum WGS 1984 e altitude média 471 m. O solo local é classificado, segundo Embrapa (2006), como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura muito argilosa (>60%).

O sistema de orientação utilizado foi o RTK Topcon Hyper AG (base) e o receptor GNSS AGI-3 acoplado ao trator e colhedora respectivamente. Assim, em uma das extremidades do talhão foi criada uma base para correção em tempo real da localização dos equipamentos. Este sistema permite um erro de localização com acurácia variando entre 0,02 e 0,06 m (Renschler, et al 2002). O raio de alcance da base instalada é de 5 km em condições normais, utilizando uma torre amplificadora o sinal pode até 30 km (TOPCON ®).

Todos os equipamentos a partir de novembro de 2010 tiveram sua entrada no talhão rastreada visando à determinação das áreas sujeitas ao tráfego de máquinas agrícolas.

O pulverizador empregado foi o modelo autopropelido Gladiador 3000® com massa de embarque de 7.500 kg, distribuídos 50 e 50% na parte frontal e traseira respectivamente. Os pneus utilizados são 12.4R 36 tanto na parte dianteira como traseira. A área de contato do pneu com o solo é de 705,62 cm². A pressão exercida pelo equipamento no solo é de 5,30 kg/cm². A barra de pulverização é de 27 m com sessões de desligamento automático.

O trator utilizado foi o modelo MF 7370 Dyna 6® com 125 kW (170 cv) a massa total de 10.640 kg, sendo distribuído o peso entre 40 e 60% na parte frontal e traseira respectivamente, os pneus são 20.8R 38 traseiro com área de contato de 1.531,42 cm² e dianteiro de 18.4R 26 com área de contato de 1.026,25 cm². A pressão total exercida pelo trator no solo é de 4.15 kg/cm² de solo. A semeadora utilizada foi do modelo Victoria Control® com largura de trabalho de 5,5 m com 11 linhas espaçadas em 0,50 m. O peso de embarque é de 6.100 kg com capacidade no reservatório de adubo e sementes de aproximadamente 2.000 kg.

Além das determinações e verificações da aplicabilidade do sistema de tráfego controlado, foram realizadas diversas avaliações das mudanças nas propriedades físicas do solo e desenvolvimento das culturas após o tráfego das máquinas no talhão. Os tratamentos investigados foram: (a) Sem tráfego de pneus (ST); (b) Tráfego com passagem de pneus do pulverizador (TP); (c) Tráfego de pneus com o conjunto trator-semeadora (TT); e (d) Tráfego máximo, acumulando passagens de pneus do pulverizador e do trator (TM).

A cultura de milho (*Zea mays*) foi semeada no ano de 2010/2011 sendo utilizado o híbrido utilizado foi o 30F53 com 4,5 plantas por metro linear. A cultura da soja (*Glycine Max*) teve o seu ciclo durante o ano agrícola de 2011/2012, sendo utilizada a cultivar ATIVA BMX, com 14 sementes por metro linear. No período de inverno, em ambos os anos a área foi mantida com cobertura vegetal formada pela aveia preta (*Avena striugosa*). Investigou-se a densidade do solo e macroporosidade nas seguintes camadas: 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m com nove repetições, seguindo a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

Para a determinação da resistência do solo a penetração (RP) o equipamento que foi utilizado foi o Penetrômetro Geo-Referenciado PNT-2000 (DLG) de operação manual, até 0,40 m com 10 repetições em cada tratamento. Concomitantemente foi determinado à umidade do solo na mesma camada avaliada.

A determinação do sistema radicular das culturas foi realizada no momento do pleno florescimento, através de imagens fotográficas. Para isso abriu-se trincheiras no solo com tamanho de 1,00 m de largura por 0,50 m de profundidade, perpendiculares a linha de semeadura e com distância de 0,03 m do colmo da planta. Em um primeiro momento procedeu-se a limpeza manual da “face” para a exposição do sistema radicular.

Após a preparação da trincheira, introduziu-se no solo uma estrutura de madeira dividida em quadriculas de 0,10 x 0,10 m formadas por fio de nylon preto formando referências para posterior pós processamento digital. Utilizou-se o software SIARCS 3.0, desenvolvido por Crestana et al. (1994), para as determinações do volume total de raízes.

As determinações foram realizadas em quatro épocas diferentes (procedendo a instalação do experimento, após a semeadura do milho, após semeadura da soja e após a colheita da soja, sempre logo após a realização do tráfego dos equipamentos. Especificamente onde ocorreu o tráfego máximo, as determinações foram realizadas em antes da instalação do experimento, após a semeadura do milho e após a colheita da soja.

O delineamento experimental seguiu o modelo de blocos inteiramente casualizados (60 X 40 m), totalizando uma área experimental de 7.200 m². Dentro de cada bloco, foi pré definido os locais de tráfego dos equipamentos. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

9.9 Resultados e Discussão

9.9.1 Ajuste de bitolas das máquinas

No primeiro ano do projeto procurou-se fazer um levantamento inicial da intensidade de tráfego em uma lavoura de grãos sob sistema plantio direto (Figura 9). Assim, não foi possível coincidir exatamente a bitola dos diferentes equipamentos, embora se tenha alinhado alguns equipamentos, com isto aproximadamente 70% da área recebeu durante a safra do milho pressão de rodado.

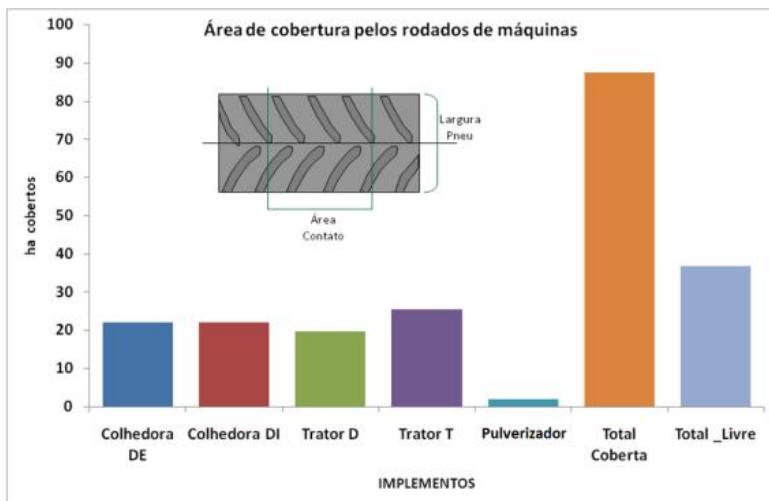


Figura 9 Rastreabilidade de área da lavoura sujeita a pressão de pneus durante a safra de milho 2010/2011. Projeto Aquarius, 2011. DE= pneu dianteiro externo, DI= pneu dianteiro interno, D= pneu dianteiro, T= pneu traseiro. Fonte: Alba et al., (2011).

A quantidade de solo que sofreu pressão dos pneus é considerado elevado para o conceito de tráfego controlado, porém provavelmente, esta situação é melhor que a grande maioria das lavouras de grãos do estado (Trein et al., 2009). Um dos problemas enfrentados nesta primeira pesquisa foi a dificuldade para alinhar o rodado dianteiro e traseiro do trator. Na safra seguinte a bitola dos rodados da colhedora foi ajustada para 3 m, com área de contato dos pneus de 0,60 m (rodado simples), possibilitando assim o uso de plataforma de 25 pés ou 7,62 m para colheita de soja ou 15 linhas de 0,50 m para colheita de milho. Os rodados dianteiros e traseiro do trator também sofreram o ajuste de bitolas para 3 m.

Com os ajustes planejados a área trafegada será reduzida de 70% (condição inicial) para 17%, deixando uma área da lavoura de 83% livre de qualquer tráfego de pneus. A utilização deste planejamento safra após safra permitirá que o solo melhore a sua estrutura e apresente maior taxa de infiltração de água e menor impedimento ao desenvolvimento radicular.

9.9.2 Planejamento e repetibilidade das linhas de semeadura

A construção de um planejamento de tráfego controlado e de linhas de semeadura é facilitada pela utilização de tecnologias como o sistema de posicionamento RTK e sistema GPS de localização. Para a realização do experimento utilizou-se o software Campeiro 7.0, que foi eficiente para fazer o planejamento das operação de semeadura de modo a fazer a bordadura no final dos trabalhos evitando a pressão dos pneus em áreas já semeada como ocorre normalmente nas operações de semeadura. A semeadura aconteceu de maneira a alternar o sentido de semeadura, no intuito de maximizar a operação, melhor a qualidade, diminuir o tempo de manobras (Figura 10).



Figura 10. Interface do monitor Topcon com o planejamento das linhas de semeadura.
Fonte: Alba et al., (2011).

Ainda, foi possível estabelecer um raio de manobra adaptado a largura dos equipamentos ao final da linha de semeadura que reduziu a necessidade de manobras nas extremidades da lavoura. Nestes locais, a velocidade de operação é reduzida e a demanda operacional pode ser mais do que o dobro do restante da área.

A acurácia do sistema de piloto automático com a utilização do sistema de RTK foi bastante elevada (Tabela1). O planejamento proposto era com distância entre linhas de semeadura de 0,50 m, com precisão de 0,002 m (deslocamento máximo ideal para o sistema). Nos locais em que se fez o sentido de semeadura reto, obteve-se 0,018 e 0,011m de precisão.

Tabela 1 Teste de Kolmogorov-Smirnov para variáveis de retas e curvas com e sem piloto automático durante a semeadura.

	Ano	p-valor	Distância (cm)		Desvio Padrão (cm)	
			com piloto	sem piloto	com piloto	sem piloto
Retas	2010	0,001	49,94	52,84	1,18	8,96
	2011	0,001	50,10	55,01	1,14	7,50
Curvas	2010	0,001	51,44	57,65	2,73	14,61
	2011	0,001	51,86	59,28	2,41	5,33

Valor de significância p<0,05.

Em áreas onde o operador executou o plantio sem uso de piloto automático houve uma variação muito maior ficando o desvio padrão de 0,089 m e 0,075 m para os anos de 2010 e 2011 respectivamente, isso se deve ao operador normalmente seguir a linha de orientação de um marcador de linha da semeadora entre uma passada e outra.

Para o plantio em curvas, o comportamento com o piloto automático foi com o desvio de 0,027 e 0,024 m para 2010 e 2011, respectivamente, ou seja, o comportamento define como aceitável o erro em relação ao padrão proposto pelo sistema de tráfego controlado.

O deslocamento das linhas de semeadura com uso do piloto automático nas operações em retas e em curvas paralelas durante os dois anos de avaliação, comparado com a operação manual do operador na condução do trator, verifica-se que quando utilizando o sistema auto guiado os valores deslocados em cada linha amostrada foram muito inferiores aos amostrados na área comparada ao manual (Figura 11).

Os resultados obtidos no plantio em curvas demonstram que mesmo em condição adversa de declividade, o piloto automático com uso do RTK obteve acurácia superior comparada com o tratamento de plantio sem o uso do piloto automático.

Nas operações em reta, quando se utilizou o piloto automático 90,02% da distância percorrida nesta operação, o deslocamento foi igual ou inferior a 0,07m em relação ao planejamento inicial, neste talhão o total percorrido em linha reta foi de 60.909 metros. A frequência em retas o piloto registrou que em

90,02% se manteve abaixo de 0,07m de deslocamento ao alinhamento planejado de retas em plantio. A distância percorrida em linha reta foi de 60.909m.

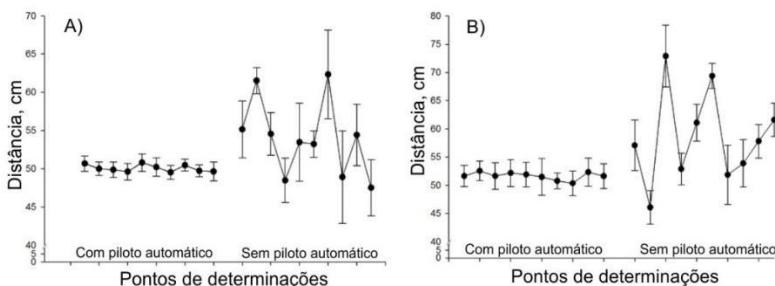


Figura 11 Paralelismo de linhas de semeadura durante dois anos de avaliações com operações realizadas em reta (A) e em curva (B).

Durante a operação em curva, 73% da distância percorrida ficou abaixo com a utilização do piloto automático ficou inferior de 0,09 m de deslocamento lateral do planejado. Nesta operação foi percorrida 40.189 m de distância. Esta redução na eficiência e aumento do erro é devido a área possuir uma declividade média e relevo ondulado variando entre 6 e 12%. Essa declividade, associada com o deslocamento paralelo causado pela movimentação da semeadora explica o aumento do erro médio acumulado registrado pelo monitor do trator.

Na cultura da cana de açúcar Baio, (2011) com o uso de RTK e piloto automático observou em 90% das observações as variações entre 0,066 e 0,249 m, sem o uso de piloto automático, o desvio oscilou entre 0,356 e 0,706 m do planejamento realizado anteriormente.

9.9.3 Sistema Radicular

Os tratamentos com tráfego de máquinas foram responsáveis pela redução na área total explorada pelas raízes do milho em 34,9; 35,0 e 55,3% nos locais onde ocorreu o tráfego do pulverizador, do trato e o máximo, respectivamente (Figura 12) em relação a local sem tráfego de máquinas. Com os resultados obtidos é possível identificar que embora existam limitações ao desenvolvimento das raízes, o maior problema observado é no tratamento onde ocorre o tráfego acumulado do trator e do pulverizador, nestes locais a redução no volume total acaba por prejudicar o seu desenvolvimento, afetado de maneira efetiva a produtividade das culturas.

No ano seguinte, na cultura da soja, o tráfego de máquinas apresentou um comportamento semelhante ao ocorrido com o milho, porém com menos

intensidade, ainda assim ocorreram reduções de 52,1, 49,5 e 58,2% respectivamente, nos tratamentos com o tráfego do pulverizador, trator e o tráfego máximo, quando comparados ao local sem tráfego.

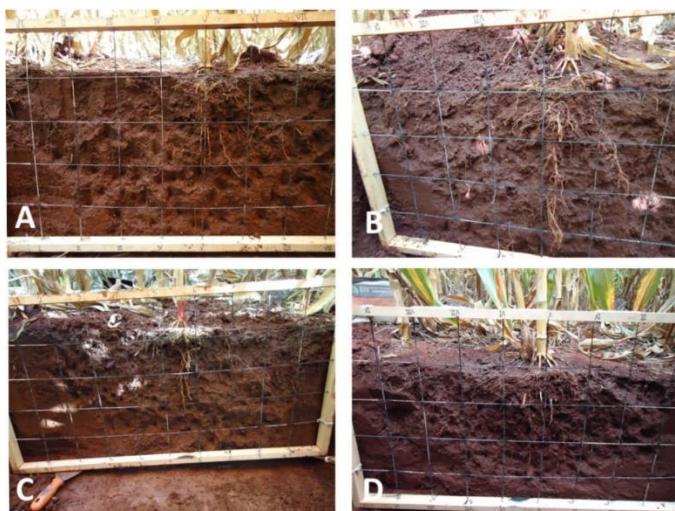


Figura 12 Sistema radicular da cultura do milho em áreas com Tráfego do Pulverizador (A), Sem Tráfego (B), Tráfego do Trator (C) e Tráfego Máximo (trator + pulverizador) (D). Não Me Toque, 2010. Fonte: Girardello, (2010).

O crescimento radicular está relacionado com fatores químicos e, principalmente, fatores físicos, entre eles a disponibilidade de água, aeração e a RP, sendo esta o fator de maior influência (Rosolem et al., 1994). Os resultados da RP após a semeadura do milho evidenciaram a dificuldade que o sistema radicular encontrou para se desenvolver. Os mesmos autores determinaram redução de 50% no crescimento radicular da cultura do milho quando a RP foi de 1,42 MPa.

Neste trabalho a RP atingiu valores mais elevados. O incremento na RP ocasiona o aumento da demanda de energia para o desenvolvimento das raízes das plantas, uma vez que a raiz terá que deslocar mecanicamente partículas de solo que estão fortemente agrupadas devido à compactação causada pelo tráfego de máquinas (Lipiec & Hatano, 2003). Em anos com déficit hídrico, a redução na produtividade está associada ao sistema radicular pouco desenvolvido e ao aumento da RP.

Ainda existem muitas dúvidas sobre os limites críticos da RP para o desenvolvimento do sistema radicular, neste trabalho os valores acima de 1,5 MPa induziram reduções no desenvolvimento das raízes na cultura da soja. Corroborado com o proposto por Zou et al. (2001) que sugeriram um intervalo de

RP com valores superiores a 1,3 até 1,5 MPa como impeditivo ao crescimento radicular. Em um estudo com diferentes graus de compactação causado pelo tráfego de máquinas LIMA et al. (2010) determinou que a RP crítica ao desenvolvimento de soja e de feijão foi de aproximadamente 1,3 MPa.

9.9.4 Atributos físicos do solo e produtividade

O tráfego intenso de máquinas foi responsável pelo aumento de 15% e 79% na densidade e na RP, respectivamente quando comparado aos locais livre do trânsito (Tabela 2). Ainda observaram-se reduções na macroporosidade na faixa de 46% nos locais onde existiu o tráfego do trator associado com o tráfego do pulverizador.

Tabela 2 Propriedades físicas do solo, infiltração de água e produtividade das culturas sob diferentes intensidades de tráfego de máquinas. Não Me Toque, RS, 2012.

Tratamentos	Densidade do solo kg dm ⁻³	Macroporosidade m ³ m ⁻³	RP máx. MPa	Infiltração mm h ⁻¹	Produtividade	
					Milho ----kg ha ⁻¹ ----	Soja
ST	1,34	0,11	2,26	104,87	13.010 a	4.242 a
TP	1,49	0,08	3,34	21,09	11.784 a	2.783 b
TT	1,39	0,10	2,64	9,58	12.418 a	4.802 a
TM	1,53	0,06	4,05	4,58	9.890 b	2.370 b

Onde: ST = Sem Tráfego, TP = Tráfego Pulverizador, TT = Tráfego Trator-semeadora, TM = Tráfego Máximo. RP máx. = Resistência a penetração máxima determinada por penetrometria digital. Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey. Teste F significativo ($p < 0,05$). (Fonte: Girardello et al., 2014).

Considerada um dos melhores indicadores da qualidade física do solo, a infiltração de água congrega diversas propriedades dentre as quais cita-se: textura, estrutura, atividade biológica, teor de matéria orgânica, manejo do solo entre outros, além de ser um resultado de fácil compreensão por parte de técnicos e produtores. O tráfego intenso de máquinas ocasionou redução da infiltração de água variando de 5 – 22 vezes, quando comparado aos locais livre do trânsito.

A produtividade da cultura do milho foi influenciada pelo tráfego de máquinas. No local onde existiu o tráfego máximo a produtividade foi 31,5; 16,0 e 25,4% menor que os locais com sem tráfego, tráfego do pulverizador e trator, respectivamente.

Na cultura da soja a produtividade também apresenta diferença estatística entre os tratamentos, a maior produtividade foi observada no tratamento com apenas a passagem de trator, produzindo cerca de 560; 2.020 e 2.430 kg ha⁻¹ a mais que os tratamentos sem tráfego, tráfego do pulverizador e

máximo, respectivamente. Quando se relativiza os tratamentos, considerando a área livre de tráfego como sendo a de referência os resultados demonstram que houve reduções de 34,4 e 42,6% onde ocorreu o passe do pulverizador e o tráfego máximo, respectivamente.

No primeiro ano do projeto de tráfego controlado implantado no projeto Aquarius foi feita a investigação mais detalhada do efeito da intensidade de tráfego no rendimento de milho. Para tanto, foi necessário fazer a colheita manual em cada linha de semeadura, nos locais com a influência do tráfego e sem tráfego (Figura 13). Na área sem tráfego a produtividade média de 12,1 Mg/ha, sendo superior em 660 kg/ha de milho da parcela com tráfego, ou seja, o tráfego foi responsável por um decréscimo em torno de 5,4%. A maior diferença média entre as linhas de semeadura investigados foi 1,0 Mg/ha.

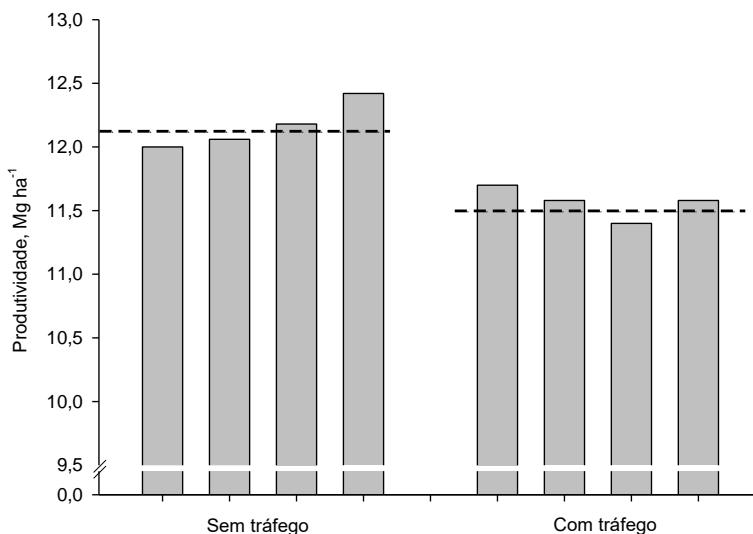


Figura 13 Produtividade do milho em área livre de tráfego e com tráfego de diferentes máquinas agrícolas. Onde: linha pontilhada = média do talhão do tratamento avaliado. Fonte: Adaptado de Alba, et al., (2011).

Wolkowski (1991) investigando o efeito do tráfego de máquinas na compactação e na disponibilidade de nutrientes para o crescimento da cultura do milho verificou que em condições de compactação as perdas de nitrogênio, por desnitrificação tendeu a aumentar, uma vez que o aumento da compactação provocou condições anaeróbias quando o solo está úmido, condição essa que predominou durante o ciclo da cultura com precipitações pluviométricas bem distribuídas.

9.10 Considerações Finais

O sistema de tráfego controlado é uma alternativa moderna para minimizar a ocorrência, cada vez mais frequente, de compactação do solo nas lavouras comerciais mecanizadas. Entre os principais benefícios desta estratégia de manejo destacam-se a melhoria das propriedades físicas do solo, a redução das perdas de água e o incremento na produtividade das culturas. Ainda aumenta o rendimento operacional das máquinas agrícolas, favorece o desenvolvimento e o aprofundamento do sistema radicular no solo, incrementa a eficiência no uso da água pelas plantas, além de reduzir o risco de erosão e de contaminação ambiental com agroquímicos.

Outras práticas que podem ser utilizadas são o uso de baixa insuflação dos pneus, semeadura em contorno, escarificação mecânica localizada, escarificação biológica, através do uso de plantas de cobertura. Associadas estas práticas contribuem para amenizar o efeito de déficits hídricos de curta duração, um dos principais desafios da agricultura gaúcha.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos parceiros de projeto Aquarius (Stara, Massey Ferguson, Yara, Cotrijal, Pioneer, Fazenda Anna) pela cessão dos equipamentos, cedência da área experimental e pela colaboração durante a atividade de pesquisa, especialmente aos funcionários da fazenda (Toco e Kleder). À Capes e CNPq pela cedência das bolsas de estudos dos autores.

Literatura citada

ALBA, P. J.; AMADO, T. J. C.; GIRARDELLO, V. C.; SCHLOSSER, D .S.; HORBE, T .A.N.; TRINDADE, B. S. Tráfego controlado em culturas de grãos no RS: princípios, desafios e resultados preliminares. **Revista Plantio Direto**, ed.122, Março/Abril p. 40-47. 2011.

AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1101-1110, 2007.

BAIO, F. H. R.; ANTUNIASSI, U. L. Direção certa: barra de luz. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n.22, p.14-16, 2003.

BAIO, F. R.; MORATELLI, R. F. Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional no plantio mecanizado da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.367-375, 2011.

BALASTREIRE, L. A.; ELIAS, I. A.; AMARAL, J. R. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. **Engenharia Rural**, n. 8, p. 97-111, 1997.

BOCHTIS, D. D.; VOUGIOUKAS, S. G. Minimising the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern. **Biosystems Engineering**, v. 101, p. 1-12. 2008.

BOCHTIS, D. D.; SØRENSEN, C. G.; GREEN, O.; MOSHOU, D.; OLESEN, J. Effect of controlled traffic in field efficiency. **Biosystems Engineering**, v. 106, p. 14-25, 2010.

BOONE, F. R. **Towards soil compaction limits for crops grows**. Neth. J. Agric. Sci., v. 34, p. 349-360, 1986.

CHAMEN, W. C. T.; VERMEULEN, G. D.; CAMPBELL, D. J.; SOMMER, C. Reduction of traffic-induced soil compaction: a synthesis. **Soil and Tillage Research**, v. 24, p. 303-318, 1992.

CHAMEN, W. C. T. The effects of low and controlled traffic systems on soil physical properties, yields and the profitability of cereal crops on a range of soil types 2011, 305 f. (PhD Thesis) School of Applied Sciences, Cranfield University, 2011.

CORDESSES L., CARIOU C., BERDUCAT M. Combine harvester control using real time kinematic GPS. **Precision Agriculture**, v. 2, p. 147-161, 2000.

CRESTANA CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M. F.; JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; TOZZI, C. L.; TORRE-NETO, A.; VAZ, C. M. P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 365-371, 1994.

DUNN, P.K.; POWIERSKI, A.P.; HILL, R. Statistical evaluation of data from tractor guidance systems. **Precision Agriculture**, v. 7, p. 179-192. 2006.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação do solo**, 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

EMBRAPA. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Campinas, 2012. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 29 outubro. 2013.

GASSEN, D. Tráfego controlado como alternativa para reduzir a compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, v. Jun/Jul, p.35-44, 2011.

GIRARDELLO, V.C.; AMADO, T.J.C., MISIEWICZ, P.; SMITH, E.K. Tráfego controlado de máquinas agrícolas: a experiência inglesa e perspectivas de adoção no Sul do Brasil, **Revista Plantio Direto** - Edição 137, p.42-50, 2014.

- GODWIN, R.J. Precision management of soil compaction and alternative approaches In: Precision in arable farming - current practice and future potential, **HGCA conference** – 28 and 29 October 2009, p. 116-126, Lincolnshire 2009.
- HAN, S.; ZHANG, Q.; NI, B.; REID, J. F. A guidance directrix approach to vision-based vehicle guidance systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.43, p.179-195, 2004.
- KINGWELL, R.; FUCHSBICHLER, A. The whole-farm benefits of controlled traffic farming: an Australian appraisal. **Agricultural Systems**, v. 104, p. 513-521, 2011.
- KROULIK, M.; KVIZ, Z.; KUMBHALA, F.; HULA, J.; LOCH, T. Procedures of soil farming allowing reduction of compaction. **Precision Agriculture**, v. 12, p. 317-333. 2011.
- LIMA, C. L. R de; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 45 p.89-98, 2010.
- LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop yields. **Geoderma**, v. 116, p. 107-136, 2003.
- MOLIN, J. P. Agricultura de precisão, parte I. O que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, v. 17, p. 97-107, 1997.
- OLIVEIRA C. A. T.; MOLIN, J.P. Uso de piloto automático na implantação de pomares de citros, **Engenharia Agrícola**, v.31, p.334-342, 2011.
- RAPER, R. L. Agricultural traffic impacts on soil. **Journal Terramechanics**, v. 42, p. 259-280, 2005.
- RAPER, R.L.; KIRBY, J.M. Soil compaction: How to do it, Undo it, or Avoid doing it. In: **Agricultural Equipment Technology Conference**, 2006. Louisville, Kentucky, p. 1-14, 2006.
- RENSCHLER, C.S.; FLANAGAN, D.C.; ENGEL, B.A.; KRAMER, L.A & SUDDUTH, K.A. Site-specific decision-making based on RTK GPS survey and six alternative elevation data sources. **Watershed topography and delineation Society** v. 45, p. 1883-1895, 2002.
- ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSE, H.F. & MORAES, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 18, p.491-497, 1994.
- TREIN, C.R.; MACHADO, A. P.; LEVIEN, R. Compactação do solo por rodados, podemos evitá-la. **Revista Plantio Direto**, v. 114, p. 28-35, 2009.

TULLBERG, J.N.; YULE, D.F.; McGARRY, D. Controlled traffic farming e from research to adoption in Australia. **Soil and Tillage Research**, v. 97, p. 272-281, 2007.

WOLKOWSKI, R.P. Corn growth response to K fertilization on three compacted soils. **Soil and Tillage Research**, v. 21, p. 287-298.1991.

ZOU, C.; PENFOLD, C.; SANDS, R.; MISRA, R.K.; HUDSON, I. Effects of soil air-filled porosity, soil matric potential and soil strength on primary root growth of radiata pine seedlings. **Plant Soil**, v. 236, p. 105-115, 2001.

CAPÍTULO 10

Levantamento de plantas daninhas na cultura da soja com as ferramentas da Agricultura de Precisão

Antônio Luis Santi¹, Diecson Ruy Orsolin da Silva¹,
Sérgio Daniel Bona², Junior Melo Damian³, Dejales
Fiorese⁴, Felipe Arthur Baron⁴, Diandra Pinto Della Flora⁴

Resumo

O manejo localizado de plantas daninhas é uma importante matéria relacionada a agricultura de precisão, que busca o manejo nas culturas de forma eficiente do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. Assim, o trabalho tem por caracterizar a variabilidade espacial e fitossociológica de plantas daninhas na cultura da soja utilizando ferramentas da agricultura de precisão. O trabalho foi conduzido em uma área agrícola localizada no município de Boa Vista das Missões – RS, na safra 2010/2011. A área vem sendo manejada em semeadura direta com monocultivo de soja (verão) há cinco anos. A área foi dividida em quadriculações regulares com dimensões de 50 x 50 m (0,25 ha), totalizando 356 pontos. Para identificação das espécies, foram usados quadros amostrais de dimensões 0,5 x 0,5 m. No levantamento foram identificados 1.739 indivíduos, distribuídos em 19 espécies de 13 famílias. As espécies daninhas *Cardiospermum halicacabum*, *Digitaria horizontalis*, *Urochloa plantaginea* e *Raphanus raphanistrum* apresentaram a maior variação populacional na área; no entanto, somente *C. halicacabum*, *U. plantaginea* e *R. raphanistrum* destacaram-se quanto ao Índice de Valor de Importância (IVI). Estratégias de manejo localizadas, considerando a variabilidade espacial das espécies de plantas daninhas agrupadas nas classes Magnoliopsidas e Liliopsidas, apresentam elevado potencial para utilização na cultura da soja. Os resultados demonstram que o método de amostragem através de malha regular foi capaz de caracterizar a ocorrência, a densidade populacional e a variabilidade espacial de espécies de plantas daninhas na cultura da soja.

Palavras-chave: distribuição espacial, índice de valor de importância, taxa variada

¹ Professor do Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, 98400-000 Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: santi_pratica@yahoo.com.br; diecsonros@hotmail.com

² Engenheiro Agrônomo, BASE-Agricultura de Precisão, Av. Osvaldo Zambonato, nº. 623, Silveira Martins, RS, Brasil. E-mail: sergio@base.agr.br

³ Mestrando em Agronomia Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, 98400-000 Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: henriquepias@yahoo.com.br; juniormelodamian@hotmail.com

⁴ Graduando do curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, 98400-000 Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: dejalesfiorese@hotmail.com; felipe.baron@hotmail.com; diandradellaflora@gmail.com

Weeds Survey in Soybean with Precision Farming Tools

Abstract

Abstract: This work aimed to characterize the spatial and phytosociological variability of weeds occurring in soybean commercial field. It was conducted in an agricultural area located at the municipality of Boa Vista das Missões – RS, during the 2010/2011 harvest season. The area, that had been managed under no-tillage with soybean monoculture (summer) for five years, was divided in regular squares of 50 x 50 m (0.25 ha), totaling 356 points. For species identification, 0.5 x 0.5 m sample squares were used. During the survey, 1,739 individuals were identified, distributed in 19 species of 13 families. The weed species *Cardiospermum halicacabum*, *Digitaria horizontalis*, *Urochloa plantaginea* and *Raphanus raphanistrum* showed the highest population variation in the area; however, only *C. halicacabum*, *U. plantaginea* and *R. raphanistrum* stood out based on the Importance Index Value (IVI). Localized management strategies considering the spatial variability of weed species placed in the Magnoliopsidas and Liliopsidas group show a high potential for use in soybean crop. The results show that the sampling method through regular grid was capable of characterizing the occurrence, population density and spatial variability of weed species in soybean crop.

Keywords: importance index value, spatial distribution, variable rate application

10.1 Introdução

Os efeitos da interferência das plantas daninhas sobre as culturas é um dos principais fatores que afetam a produtividade dos cultivos. Ainda que, utilizando técnicas de manejo de plantas daninhas nas culturas, ocorrem perdas principalmente em função da competição entre as espécies cultivadas e daninhas. As espécies daninhas foram selecionadas de modo a sobreviver a um ambiente de condições adversas, e algumas características fazem com que as tenham sucesso no quesito sobreviver, e dentre essas, destacam-se: maior habilidade em recrutamento de recursos como água, luz e nutrientes; grande capacidade de produção de sementes; desuniformidade no processo germinativo; capacidade de germinação em grandes profundidades; mecanismos alternados de reprodução; capacidade de dispersão, entre outras.

O grau de interferência das plantas daninhas às culturas depende de uma série de fatores ligados a comunidade infestante, cultura, períodos de convivência. Dentre esses fatores, a composição florística das espécies infestante, densidade e distribuição, assim como os períodos em que ocorrem dentro da cultura, apresentam papel fundamental no potencial em causar interferência nas culturas de interesse. A importância de identificar áreas infestadas por plantas daninhas em cultivos agrícolas reside no fornecimento de informações adequadas ao manejo. No contexto atual, a distribuição de plantas daninhas nas lavouras cultivadas vem sendo foco de interesse de agricultores. Haja vista, que à medida que surgiu a possibilidade de gerir de forma localizada

os recursos em sistemas de produção agrícola, a necessidade de mapeamento de áreas infestadas por plantas daninhas torna-se iminente (Sartori et al., 2009).

Com a introdução da Agricultura de Precisão (AP) na agricultura brasileira, possibilitou-se uma nova forma de visualizar o manejo das culturas. Assim, essa tecnologia permite aos produtores uso de recursos naturais de forma mais eficiente, maior retorno econômico e possibilidade de redução dos impactos ambientais. Para o manejo de plantas daninhas, a tecnologia de georreferenciamento permite realizar o levantamento de plantas infestantes dentro de um local, região, propriedade, talhão específico com grande rapidez, eficácia e facilidade. Embora, o mapeamento apresente dificuldades devido a emergência das plantas depender de vários fatores biológicos, ambientais, manejo e ambos atuando de forma conjunta. Com este tipo de levantamento, no entanto, é possível prescrever locais onde não haverá necessidade de realizar aplicação de herbicidas, a partir da existência de locais onde a população de plantas daninhas não tenha atingido o nível de dano econômico, não representando deste modo, risco a perda da produtividade da cultura.

Vários estudos demonstram que muitas espécies de plantas daninhas estão agregadas ou frequentemente ocorrem em reboleiras ou manchas, devido a aspectos de sua biologia (Shiratsuchi, 2001). A ocorrência de plantas daninhas em uma determinada área são dependentes dos mecanismos de dispersão associados a cada espécie infestante, os quais favorecem sua disseminação por distâncias maiores ou menores. Assim, com por exemplo, a buva (*Conyza sp.*) possui capacidade de dispersão a longas distâncias dependendo das condições de vento. Já o leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) embora as sementes são pesadas, possui mecanismo de dispersão capaz de dispersar até 5 metros da planta mãe.

Uma vez produzidas sementes, estas podem permanecer no banco de sementes do solo, garantindo a germinação escalonada, ao longo do tempo. As espécies de plantas que ocorrem nesse banco são consideradas potenciais plantas daninhas, visto que, de alguma forma, poderão intervir no desenvolvimento das plantas de interesse econômico (Deuber, 1997).

Frente a distribuição espacial de plantas daninhas, a caracterização da variabilidade espacial das plantas daninhas com o uso do georreferenciamento possibilita a aplicação de herbicidas localizados de forma racional, reduzindo o uso e o impacto ambiental se comparado com as aplicações convencionais em área total (Timmermann, 2003). Assim, o estudo fitossociológico se faz de grande importância para os programas de manejo de plantas daninhas, visto que que, a predominância de determinadas espécies indicam o potencial da comunidade infestantes em causar danos aos cultivos de interesse, além de auxiliar na escolha do melhor método de manejo ou na escolha do herbicida mais eficiente. Outro ponto a se destacar, é o mapeamento de plantas daninhas resistentes a herbicidas dentro do talhão, visto que nos últimos anos houve um

aumento significativo dessas plantas e a agricultura de precisão pode auxiliar principalmente para o manejo diferenciado dessas áreas infestadas.

O manejo de plantas daninhas em sistema de produção agrícolas é normalmente fundamentado no tipo e grau de infestação da área no momento da aplicação das medidas de controle, ou no histórico da incidência de plantas daninhas. Sendo assim, é levado em consideração a infestação média de plantas daninhas que ocorre na área, considerando que as plantas daninhas estão distribuídas uniformemente no talhão onde vão ser controladas. No entanto, as plantas daninhas não se distribuem nas áreas agrícolas uniformemente e com grande variabilidade espacial (Shiratsuchi & Christoffoleti, 2002).

No entanto, o levantamento tradicional detalhado da flora infestante nas áreas agrícolas demanda de tempo e mão-de-obra, o que em muitas áreas inviabiliza seu trabalho. Assim, as ferramentas utilizadas na agricultura de precisão podem ser aliadas no levantamento de dados sobre a distribuição das plantas daninhas em áreas agrícolas, viabilizando principalmente, o levantamento em grandes áreas. Desta forma, a amostragem de plantas daninhas está relacionado ao tamanho das malhas amostrais (grids) o qual expressa a habilidade em diagnosticar a presença das infestantes de forma precisa para determinar o melhor manejo de controle (Balastreire & Baio, 2001).

A qualidade dos mapas de plantas daninhas está relacionado a quantidade de pontos amostrados e tem impacto positivo na ordem de determinar com mais precisão as zonas de presença de plantas daninhas, consequentemente zonas de manejo (Souza et al., 2008). Contudo, a quantidade de pontos amostrados em uma área pode-se diminuir sem ter a perda da qualidade de representação, assim como verificado em estudo conduzido por Camicia et al. (2015). Segundo esses autores, as amostragens de 50 x 50 m e 30 x 30 m para as Liliopsidas e Magnoliopsidas, respectivamente, geraram mapas que adequados e práticos para avaliar a distribuição de plantas daninhas, comparados com grids de 10 x 10 m. Outra alternativa em amostragem, é a utilização de mapas que fazem o contorno das reboleiras de plantas daninhas (Balastreire & Baio, 2001).

Os métodos de amostragem de plantas daninhas utilizando ferramentas da agricultura de precisão são variadas, e dentre eles o uso de sensores em tempo real, câmera infra-vermelho, sensores de índice de vegetação e marcação do local da presença de plantas daninhas no momento da colheita mecanizada, disponíveis em painéis das colhedoras tem sido estudados por vários autores (Silva Jr et al., 2012).

A utilização de mapeamento de plantas daninhas pode gerar um impacto econômico e ambiental muito significativo, principalmente quando for utilizado a técnica de aplicação localizada de herbicidas. A utilização de técnica de aplicação localizada de herbicidas possui potencial de economia de volume em mais de 70% no volume de herbicidas aplicados para manejo de plantas daninhas em comparação com aplicação convencional em área total

(Christensen et al., 1999). Ainda, pela amostragem georeferenciada, torna-se possível identificar se o nível de dano econômico das plantas daninhas foi atingido, fazendo com haja a necessidade ou não da aplicação de herbicidas. Embora se tenha grande vantagem de utilização, principalmente na redução de custos e impactos ambientais a aplicação prática dessa tecnologia tem sido pouco utilizada ou utilizada de forma inexpressiva (Merotto & Bredemeier, 2010). Assim, o trabalho tem por caracterizar a variabilidade espacial e fitossociológica de plantas daninhas na cultura da soja utilizando ferramentas da agricultura de precisão.

10.2 Material e Métodos

O trabalho foi conduzido na fazenda Vila Morena localizada no município de Boa Vista das Missões - RS. A propriedade em estudo é manejada sob sistema de plantio direto, e utiliza o ciclo completo da AP, desde mapas de colheita, aplicação de corretivos a taxa variadas, além de estudos pioneiros avaliando fatores biológicos como fauna, pragas, plantas daninhas, os quais esta propriedade referencia em técnicas de AP voltadas para obtenção de altos rendimentos de grãos.

A área de estudo está situada entre as coordenadas geográficas de latitude: 26°78'55" S a 26°93'14"S e longitude: 69°29'28" N a 69°30'96", totalizando uma área 89,07 ha (Figura 1). O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfa – temperado chuvoso, com precipitação média anual elevada, geralmente entre 1.800 e 2.100 mm, bem distribuída ao longo do ano e subtropical do ponto de vista térmico. A temperatura média anual é em torno 18°C, com máximas no verão podendo atingir 41°C e mínimas no inverno atingindo valores inferiores a 0°C (Moreno, 1961). O relevo da região é suave ondulado e o solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2006).

A semeadura da soja, foi realizada em novembro de 2010 em sucessão a cultura do trigo. O manejo de dessecação da área foi realizado com a aplicação de glifosato (720 g e.a. ha⁻¹) e diclosulan (25,2 g i.a. ha⁻¹). A cultivar de soja utilizada foi a Nidera 6411 com espaçamento de 0,50 m e população de plantas de 240.000 por ha.

O levantamento das espécies ocorrentes foi realizado durante o estádio inicial de desenvolvimento da soja, estádio vegetativo V5, antes da primeira aplicação de herbicida pós-emergente.



Figura 1 Localização da área experimental – Boa Vista das Missões, RS

10.2.1 Metodologia de amostragem e distribuição dos pontos amostrais

Para o georreferenciamento do talhão, foi percorrido o perímetro da área com um GPS de navegação portátil, marca Garmin®. A geração da malha amostral foi realizada a partir da divisão da área em quadrículas regulares com dimensões de 50 x 50 m, representando 0,25 ha, totalizando assim, 346 pontos amostrais georreferenciados na área de estudo (Figura 2). Para a confecção da malha georreferenciada foi utilizado o software Sistema CR – Campeiro 7.14 (Giotto & Robaina, 2007).

Para a localização dos pontos foram utilizados GPS Garmin® MAP76csx, sem correção diferencial, quadros amostrais de dimensões 0,5m x 0,5m, ou seja, 0,25 m², planilhas de campo para anotação das espécies e número de indivíduos.

Uma vez localizado o ponto, procedeu-se a identificação e contagem da população das espécies daninhas existentes, dentro da área de avaliação delimitada pelo quadro amostral.

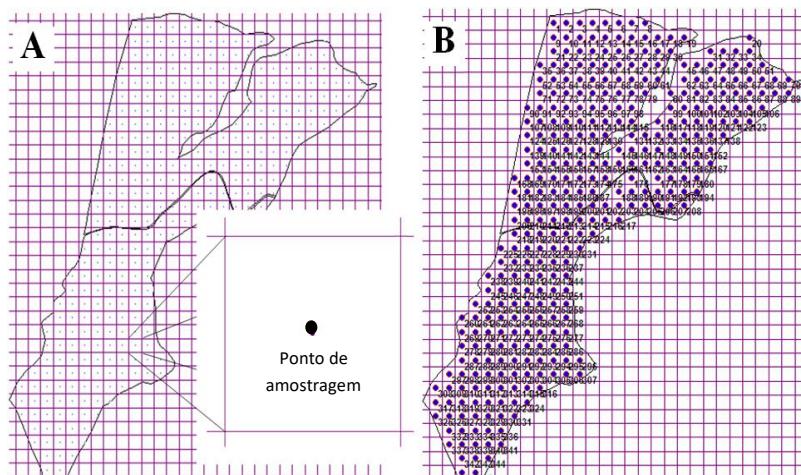


Figura 2 Malha amostral (a) e 346 pontos amostrais georreferenciados (b) na área experimental.

Após a realização das avaliações a campo, os dados coletados foram tabulados em planilhas eletrônicas, utilizando o software Excel®. Os dados foram submetidos as seguintes análises: Frequência ($F = \text{Nº lançamentos no qual foi detectada uma espécie/ N° total de lançamentos}$); Densidade ($D = \text{nº de indivíduos de uma espécie/área total amostrada}$); Abundância ($A = \text{nº indivíduos de uma espécie/ n° lançamentos no qual foi detectada uma espécie}$); Frequência Relativa (frequência de uma espécie x 100 / frequência total); Densidade Relativa ($DR\% = \text{densidade de uma espécie X 100 / densidade total}$); Abundância Relativa ($AR\% = \text{abundância de uma espécie x 100 / abundância total}$), Índice de Valor de Importância ($IVI = FR + DR + AR$).

Os valores absolutos de ocorrência das diferentes espécies de plantas daninhas foram submetidos à análise estatística descritiva, determinando medidas de posição (mínimo, média, mediana, máximo) e de dispersão [desvio padrão, coeficientes de variação (CV%), de assimetria (Cs) e de curtose (Ck)]. Além disso, verificou-se a existência de tendência central (normalidade) dos dados originais por meio do Teste W ($p < 0,05$) (Shapiro & Wilk, 1965). Foram considerados como distribuição de probabilidade normal os dados que obtiveram resultado de p -valor $> 0,05$, ou seja, valor não significativo ao nível de 5% de significância através do programa computacional *Statistical Analysis System – SAS 8.0*. A avaliação da variabilidade espacial das plantas daninhas ocorrentes na área foi realizado utilizando o interpolador geoestatístico krigagem, com auxílio do software Falker MapPlus.

10.3 Resultados

No levantamento fitossociológico realizado na cultura da soja em área de 89,07 ha, correspondendo a 346 pontos amostrais, foram identificados 1.739 indivíduos, distribuídos em 19 espécies e 13 famílias. Destas, 15 espécies da classe Magnoliopsidas e 4 espécies da classe Liliopsidas, sendo que as famílias Poaceae (4), Solanaceae (2) e Asteraceae (2) foram as que apresentaram maior representação em número de indivíduos (Tabela 1). O método de mapeamento através da amostragem utilizando grades amostrais foi eficiente em captar a variabilidade espacial existente, tendo como problemática a questão do tempo e esforço necessário para a sua realização.

Tabela 1 Nomes comuns, nome científico, família e classe das espécies daninhas identificadas na área experimental.

Nome comum	Nome científico	Família	Classe
Balãozinho	<i>Cardiospermum halicacabum</i>	Sapindaceae	Magnoliopsidas
Papuã	<i>Urochloa plantaginea</i>	Poaceae	Liliopsidas
Nabo	<i>Raphanus raphanistrum</i>	Brassicaceae	Magnoliopsidas
Milhã	<i>Digitaria horizontalis</i>	Poaceae	Liliopsidas
Leiteira	<i>Euphorbia heterophylla</i>	Euphorbiaceae	Magnoliopsidas
Guanxuma	<i>Sida rhombifolia</i>	Malvaceae	Magnoliopsidas
Corriola	<i>Ipomea spp.</i>	Convolvulaceae	Magnoliopsidas
Maria P.	<i>Solanum americanum</i>	Solanaceae	Magnoliopsidas
Flor-Roxa	<i>Echium plantagineum</i>	Boraginaceae	Magnoliopsidas
Fedegoso	<i>Senna obtusifolia</i>	Fabaceae	Magnoliopsidas
Aveia-Branca	<i>Avena sativa</i>	Poaceae	Liliopsidas
Salva limão	<i>Hyptis suaveolens</i>	Lamiaceae	Magnoliopsidas
Poaia	<i>Richardia Brasiliensis</i>	Rubiaceae	Magnoliopsidas
Serralha	<i>Sonchus oleraceus</i>	Asteraceae	Magnoliopsidas
Marcela	<i>Achyrocline satureioides</i>	Asteraceae	Magnoliopsidas
Caruru	<i>Amaranthus spp.</i>	Amaranthaceae	Magnoliopsidas
Capim Amoroso	<i>Cenchrus echinatus</i>	Poaceae	Liliopsidas
Buva	<i>Conyza bonariense</i>	Asteraceae	Magnoliopsidas
Joá	<i>Solanum sisymbriifolium</i>	Solanaceae	Magnoliopsidas

Fonte: Lorenzi (2006).

A eficiência do método adotado também foi verificado por Shiratsuchi (2001), que considerou que a técnica de amostragem em malhas (grids) é perfeitamente aceitável, no entanto, há algumas limitações no seu uso prático para construção de forma mais rápida de mapas para aplicação de herbicidas. Balastreire & Baio (2001) testaram uma metodologia prática para o mapeamento de plantas daninhas pelo contorno das reboleiras com um quadricírculo em dois momentos, assim, o tempo gasto entre as duas avaliações de plantas daninhas

variou conforme a ocorrência de maior número de reboleiras de plantas daninhas, sendo gasto maior tempo conforme maior presença de plantas na área. Outros métodos de avaliação da flora infestante tem sido utilizados, tendo como uso equipamentos munidos de sensores para a diagnose de fertilização com nitrogênio (Merotto Jr et al., 2012). Segundo esses autores, os resultados indicaram que o equipamento utilizado inicialmente para determinação de fertilização de nitrogênio, pode ser usado para diferenciar as plantas daninhas, palha e solo nu e para a quantificação da interferência das plantas daninhas nas culturas.

10.3.1 Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em lavoura comercial

A espécie daninha *R. raphanistrum* L. foi a que apresentou as maiores frequências e frequência relativa, equivalentes a 0,214 e 21,83%, respectivamente (Tabela 2). Sua distribuição espacial teve um comportamento mais uniforme na área estudada, quando comparada com as demais espécies, apresentando, o terceiro maior IVI (41). Esta uniformidade pode ter sido resultado da utilização desta espécies no ano anterior para com planta de cobertura durante o inverno. Assim como, o momento de manejo químico de dessecação ocorreu quando as plantas já estavam em estado avançado de formação de grãos, o que culminou no aumento do banco de sementes dessa espécie. Ainda, ressalta-se a importância de um bom manejo de dessecação para as espécies que são utilizadas como plantas de cobertura, a fim de evitar competição após a emergência das culturas.

Quanto aos índices de IVI, as espécies que apresentaram os maiores valores foram *C. halicacabum*, com 81,91 e *U. plantaginea*, com 51,92 (Tabela 2). Para *C. halicacabum* a densidade relativa foi o fator que mais contribui para o IVI, demonstrando que a ocorrência dessa espécie teve um elevado número de indivíduos por unidade de área, dessa forma, pode-se inferir que a espécie ocorreu em pequena parte da área ou em pontos isolados caracterizados como reboleiras, porém, de forma intensa. Esta planta daninha teve importância nas lavouras de soja não resistente a herbicidas, devido à falta de controle e as sementes serem de difícil separação no momento da colheita mecanizada (Souza & Ruedell, 1993). Já, para *U. plantaginea*, a abundância relativa foi o fator que mais contribuiu para o IVI fator que indica que a planta é encontrada em poucos pontos, mas quando encontrada na área amostral possui grande números de indivíduos.

Uma das ferramentas mais importantes para se avaliar a comunidade de plantas daninhas é o estudo fitossociológico, pois, por meio dele, podem ser determinadas as principais espécies infestantes, indicando quais dos são responsáveis pela importância relativa (Carvalho et al., 2008).

Tabela 2 Parâmetros fitossociológicos avaliados para as espécies ocorrentes na área experimental.

Nome Científico	Parâmetros Fitossociológicos*						
	F	D	A	FR%	DR%	AR%	IVI
<i>C. halicacabum</i>	0,185	8,382	11,32	18,88	41,74	21,30	81,91
<i>U. plantaginea</i>	0,130	4,497	8,64	13,27	22,39	16,25	51,92
<i>R. raphanistrum</i>	0,214	2,671	3,12	21,83	13,30	5,87	41,00
<i>D. horizontalis</i>	0,136	0,983	1,80	13,86	4,89	3,40	22,16
<i>E. heterophylla</i>	0,052	1,168	5,61	5,31	5,81	10,55	21,67
<i>S. rhombifolia</i>	0,072	0,775	2,68	7,37	3,86	5,04	16,27
<i>Ipomea</i> spp.	0,064	0,786	3,09	6,49	3,91	5,81	16,21
<i>S. americanum</i>	0,064	0,439	1,72	6,49	2,19	3,25	11,92
<i>E. plantagineum</i>	0,003	0,035	3,00	0,29	0,17	5,64	6,11
<i>S. obtusifolia</i>	0,009	0,081	2,33	0,88	0,40	4,39	5,67
<i>A. sativa</i>	0,014	0,092	1,60	1,47	0,46	3,01	4,94
<i>H. suaveolens</i>	0,003	0,023	2,00	0,29	0,12	3,76	4,17
<i>R. Brasiliensis</i>	0,003	0,023	2,00	0,29	0,12	3,76	4,17
<i>S. oleraceus</i>	0,012	0,058	1,25	1,18	0,29	2,35	3,82
<i>A. satureioides</i>	0,012	0,046	1,00	1,18	0,23	1,88	3,29
<i>Amaranthus</i> spp.	0,003	0,012	1,00	0,29	0,06	1,88	2,23
<i>C. echinatus</i>	0,003	0,012	1,00	0,29	0,06	1,88	2,23
<i>C. bonariense</i>	0,003	0,012	1,00	0,29	0,06	1,88	2,23
<i>S. sisymbriifolium</i>	0,003	0,012	1,00	0,29	0,06	1,88	2,23
TOTAL	0,98	20,08	53,20	100,00	100,00	100,00	

* F= Frequência; D= Densidade; A= Abundância; FR= Frequência Relativa; DR= Densidade Relativa; AR= Abundância Relativa; IVI= Índice Valor de Importância.

A densidade total de infestação pelas espécies daninhas foi de aproximadamente 20 plantas m⁻², as quais podem acarretar um decréscimo de produtividade significativamente, quando nenhum método de controle for adotado. Uma importante estratégia no controle dessas plantas para se evitar a competição é a aplicação de um herbicida residual na dessecação, a qual aumenta o período anterior a interferência. O grau de interferência das plantas daninhas é influenciado por diversos fatores, dos quais o período de convivência com as culturas agrícolas é um dos mais importantes (Pitelli, 1985). O início do período crítico na cultura da soja, está situado entre 25 e 30 dias após a emergência da cultura (Voll et al., 2005). Os índices observados são resultado do manejo realizado no talhão, anteriormente a implantação da cultura da soja. Por se tratar de uma lavoura comercial, não permitiu-se deixar atingir o nível de dano econômico, realizando o controle através de herbicidas no momento adequado. Deste modo, as populações de plantas não atingiram níveis extremamente elevados.

A espécie *E. heterophylla* apresentou uma baixa densidade, 1,16 plantas m⁻², contudo, o índice que merece mais atenção é a sua abundância relativa, a

qual representou aproximadamente 48% do valor de IVI, o qual atingiu o índice de 10,5% (Tabela 2). Essa resposta ocorre em função a baixa dispersão das sementes a grandes distâncias, visto que são sementes pesadas. O comportamento da abundância relativa de *E. heterophylla*, é muito semelhante a outras plantas daninhas que possuem sementes pesadas, como é o caso de *C. halicacabum* e *R. raphanistrum*. Embora, *E. heterophylla* ocorra em baixas densidades, isto requer atenção no monitoramento dessa espécies devido à alta habilidade competitiva com a cultura da soja (Carvalho et al., 2010). Dado que esta área se manteve durante alguns anos em monocultura de soja, acredita-se que a ocorrência desta espécie foi favorecida, aumentando a área do banco de sementes para as plantas que não foram controledas eficientemente. O baixo controle, a ponto de a planta produzir sementes, pode estar relacionado com a utilização de subdoses de glifosato e estadio de desenvolvimento da planta daninha, o que aumenta a tolerância ao herbicida (Vargas et al., 2013), assim, permitindo que a planta produza sementes que vão incrementar o banco no solo.

A espécie *U. plantaginea* apresentou uma densidade de 4,49 plantas m^{-2} , níveis que devem ser levados em consideração devido sua excelente capacidade competitiva (Voll et al., 2002). As plantas Liliopsidas apresentaram uma tendência de comportamento de ocorrência em reboleiras, principalmente para *U. plantaginea*, visto a segunda maior AR%, contudo, o fator que teve maior contribuição no IVI foi a DR%, indicando que esta espécie ocorre com grande número de indivíduos por área. A espécie *D. horizontalis*, apresentou baixa densidade, 0,98 plantas m^{-2} , no entanto, é interessante observar a FR%, a qual representou cerca de 62% da IVI, a qual chegou ao valor de 13,86%, demonstrando a presença da espécie de forma bem distribuída, embora em baixas densidades (Tabela 2).

As espécies *Ipomoea grandifolia* e *Sida rhombifolia* apresentaram taxas fitosociológicas FR%, DR% e AR% muito similares (Tabela 2). Para *I. grandifolia* os valores foram de 6,49, 3,91 e 5,81, e para *S. rhombifolia*, 7,37, 3,86 e 5,04, bem como o IVI de 16,21 e 16,27, respectivamente. Em geral, as principais espécies de plantas daninhas observados no estudo são chamados estrategistas ruderais (Radosevich et al., 1997), que são estabelecidos na área e adaptar de acordo com o sistema utilizado (plantio direto na palha). Na Figura 3, pode-se verificar as espécies que apresentam o maior IVI e a contribuição da frequência relativa, densidade relativa e da abundância relativa, nesse índice. Desta forma, as plantas que apresentaram maior índice de valor de importância, foram *C. halicacabum*, *U. plantaginea*, *R. raphanistrum*, *D. horizontalis* e *E. heterophylla*, respectivamente. Dentre algumas plantas em que poderiam apresentar grande importância é *C. bonariensis*, pois em grande parte do Rio Grande do Sul, esta planta apresenta resistência ao glifosato, principal herbicida utilizado em soja RR, contudo tem importância insignificante na área de estudo. Isto se deve a um bom manejo durante o período de inverno com uso de plantas de cobertura e manejo com herbicidas resíduais na dessecação.

10.3.2 Análise estatística descritiva da variabilidade espacial de plantas daninhas

Quando se requer de um maior detalhamento para algum tipo de levantamento, é necessário adensar a malha amostral a fim de realizar maior número de amostras dentro de uma mesma área. Mas o inconveniente de tal método é simplesmente a viabilidade da execução. Esse detalhamento maior torna-se necessário quando se deseja captar plantas resistentes ou que se tornaram invasoras recentemente, porém essa metodologia novamente torna-se inoperável para grandes extensões de área, como é o caso desse levantamento. Quando se utiliza uma grande amostral pouco densa corre-se o risco de sub ou superestimar os dados comprometendo a fidedignidade do levantamento.

Os resultados da análise estatística (Tabela 3) apresentam que as plantas daninhas tendem a não exibir frequência de distribuição normal. Esses resultados são confirmados pelos valores de Cs e Ck, maiores e distantes de zero. Este comportamento confirma os mesmos resultados observados por Shiratsuchi (2001) e Chiba et al., (2010).

Assim como verificado para a dispersão dos dados, os valores do coeficiente de variação (CV) foram elevados para grande maioria das espécies, especialmente *C. halicacabum* (310%) e *U. plantaginea* (236%). A ocorrência dessas plantas daninhas em reboleiras e com alta infestação é o principal fator para o maior CV.

Para o teste de normalidade dos dados, ou seja, o Teste W ($p < 0,05$) baseado em (Shapiro & Wilk, 1965), ficou evidenciado que os mesmos não possuem uma distribuição normal com os coeficientes de assimetria e curtose. Essa ocorrência também foi percebida por Shiratsuchi (2000).

A grande maioria das espécies tiveram índices de mínimo de aproximadamente uma planta m^{-2} , onde se destacaram as espécies *C. halicacabum* e *U. plantaginea* que tiveram um mínimo de 2,91 e 1,99 plantas m^{-2} ocorrentes na área, respectivamente. Ao trabalhar com o número médio de plantas daninhas, deve-se tomar muito cuidado, pois a espécie pode apresentar uma média elevada, mas com ocorrência em apenas parte da área, demonstrando que a avaliação da variabilidade espacial já se justificaria, pois a média não permite inferir sobre um manejo sustentável (Voll, 2000). Quanto aos Coeficientes de Variação (CV %) a maioria das espécies apresentaram valores bem elevados, fato que remonta um problema quando a densidade for extremamente elevada de plantas em determinado local, pois esse fator irá afetar diretamente na acurácia dos dados, causando elevadas variâncias, bem como o CV% (Voll, 2000). A ocorrência de altos valores de CV é uma característica em estudos envolvendo mapas de infestação de plantas daninhas (Gerhards et al., 1997). Ainda, segundo os autores, a origem deste resultado é reflexo do tipo de distribuição em manchas ou reboleiras.

De forma geral, os CV das espécies é resultado de uma variação natural da dinâmica de cada espécie no ambiente, e cada uma responde de forma distinta no ambiente. Devido a essa alta variabilidade, que é decorrente da instabilidade de sua distribuição espacial, é originária da alta amplitude no número de espécies encontradas em cada ponto. Um aprimoramento de técnicas estatísticas de análise, como a geoestatística e estudos de métodos de mapeamento são essenciais para que melhores decisões de manejo de plantas daninhas sejam adotadas ao utilizar qualquer ferramenta que considere esta variabilidade espacial (Shiratsuchi 2000).

Tabela 3 Análise estatística descritiva da variabilidade de plantas daninhas ocorrentes na área experimental.

Variáveis	Parâmetros Estatísticos*					
	Média	D.P.	Máx.	CV	Cs	Ck
<i>E. heterophylla</i>	1,11	0,50	5,00	45,43	5,25	29,35
<i>C. halicacabum</i>	2,91	9,05	118,00	310,80	8,11	84,50
<i>D. horizontalis</i>	1,24	1,88	25,00	151,61	10,22	113,45
<i>U. plantagineaa</i>	1,99	4,72	53,00	236,87	6,68	53,87
<i>R. raphanistrum</i>	1,45	1,81	24,00	124,26	7,53	77,04
<i>Ipomea</i> spp.	1,13	1,09	15,00	96,26	10,86	125,57
<i>S. rhombifolia</i>	1,12	0,89	15,00	79,60	12,06	174,14
<i>S. oleraceus</i>	1,00	0,05	2,00	5,36	18,60	346,00
<i>S. americanum</i>	1,05	0,32	5,00	30,56	9,02	93,22
<i>A. satureioides</i>	1,00	0,05	2,00	5,36	18,60	346,00
<i>Avena sativa</i>	1,01	0,12	3,00	11,90	14,94	233,80
<i>S. obtusifolia</i>	1,01	0,22	5,00	21,26	18,60	346,00
<i>Amaranthus</i> spp.	1,00	0,05	2,00	5,36	18,60	346,00
<i>H. suaveolens</i>	1,01	0,08	2,00	7,55	13,10	170,48
<i>C. echinatus</i>	1,00	0,05	2,00	5,36	18,60	346,00
<i>C. bonariense</i>	1,00	0,05	2,00	5,36	18,60	346,00
<i>S. sisymbifolium</i>	1,00	0,05	2,00	10,69	18,60	346,00
<i>E. plantagineum</i>	1,01	0,11	3,00	5,36	18,60	346,00
<i>R. brasiliensis</i>	1,00	0,05	2,00	7,43	18,60	346,00

*DP= Desvio padrão; Máx= Máximo; CV= Coeficiente de variação; Cs= Assimetria; Ck= Curtose.

10.3.3 Variabilidade espacial de plantas daninhas

A avaliação da distribuição espacial e a interpretação dos resultados seguiram os índices de densidade populacional de plantas daninhas, utilizando sempre a mesma legenda para as diferentes espécies, com o intuito de facilitar a diferenciação na infestação ocorrente na área. Mesmo sabendo que elas apresentam comportamentos biológicos distintos, manteve-se o mesmo intervalo entre classes para facilitar a comparação entre as espécies. Foram definidas as

seguintes classes: Muito Baixa: < 2 plantas m⁻²; Baixa: 2 a 6 plantas m⁻²; Média: 6 a 10 plantas m⁻²; Alta: 10 a 15 plantas m⁻²; Muito Alta: > 15 plantas m⁻².

Na Figura 4 são exibidas as plantas daninhas que apresentaram grande variabilidade espacial na área de estudo. Outras espécies tais como: *Solanum sisymbriifolium*, *Conyza bonariense*, *Cenchrus echinatus*, *Amaranthus spp.*, *Achyrocline satureoides*, *Sonchus oleraceus*, *Richardia brasiliensis*, *Hyptis suaveolens*, *Avena sativa*, *Senna obtusifolia*, *Echium plantagineum*, *Sida rhombifolia*, *Solanum americanum* apresentaram uma densidade de infestação muito baixa, ou seja < 2 plantas m⁻² em pelo menos mais que 90% da área, sendo considerada uma densidade que não apresenta grandes prejuízos a cultura da soja, desde forma sendo suprimidos os mapas. Contudo, embora o valor pode parecer pequeno, mais uma vez é enfatizada a comum proliferação das plantas daninhas; usando a espécie de *Conyza bonariensis* como um exemplo, observou-se que uma planta é capaz de produzir cerca de 110 mil sementes (Wu & Walker, 2007), fazendo com que a reconstituição do banco de sementes, ou, neste caso específico, dado o muito leve estrutura da semente, a dispersão na área. No entanto, em geral, densidades de plantas daninhas com menos de 2 plantas m⁻², especialmente em uma cultura de soja bem estabelecido, podem não apresentar um risco de perdas.

As espécies *C. halicacabum* e *I. grandifolia* apresentaram uma infestação muito baixa (< 2 plantas m⁻²) em 70,60 e 89,91% da área e muito alto (> 15 plantas m⁻²) em 11,51 e 1,18% da área, respectivamente (Figura 2a e 2b). Nota-se que para a primeira espécie, há ocorrência de uma grande mancha em uma região da lavoura, e esse comportamento pode ter sido resultado de falhas de aplicações de herbicidas anteriores, o que pode ter resultado no aumento do banco de sementes. *E. heterophylla* teve infestação muito alta (> 15 plantas m⁻²) em apenas 0,05% da área e um percentual de 82,06% da área ocupada com menos de 2 plantas m⁻², ou seja, classificadas como muito baixa. Por outro lado, a infestação de 13,64% da superfície é observado, com 2 a 6 plantas m⁻², bem distribuídos no campo (Figura 4c). De acordo com Carvalho et al. (2010), a elevada capacidade competitiva de *Euphorbia heterophylla* com soja promove uma redução significativa no crescimento da cultivar, com uma diminuição de 82% na acumulação de massa seca de grãos de soja na presença de alta população de *Euphorbia heterophylla*.

As plantas Liliopsidas da família das Poaceas, *D. horizontalis* e *U. plantaginea*, possuem menor capacidade de dispersão de sementes a longas distâncias, tornando a distribuição mais localizada. Este comportamento é evidente nos mapas temáticos, nos quais 89,05 e 78,14% da área de ocorrência apresentado abaixo de 2 plantas m⁻² e 1,89 e 8,73% da área, com > 15 plantas m⁻², respectivamente (Figura 4d e 4f).

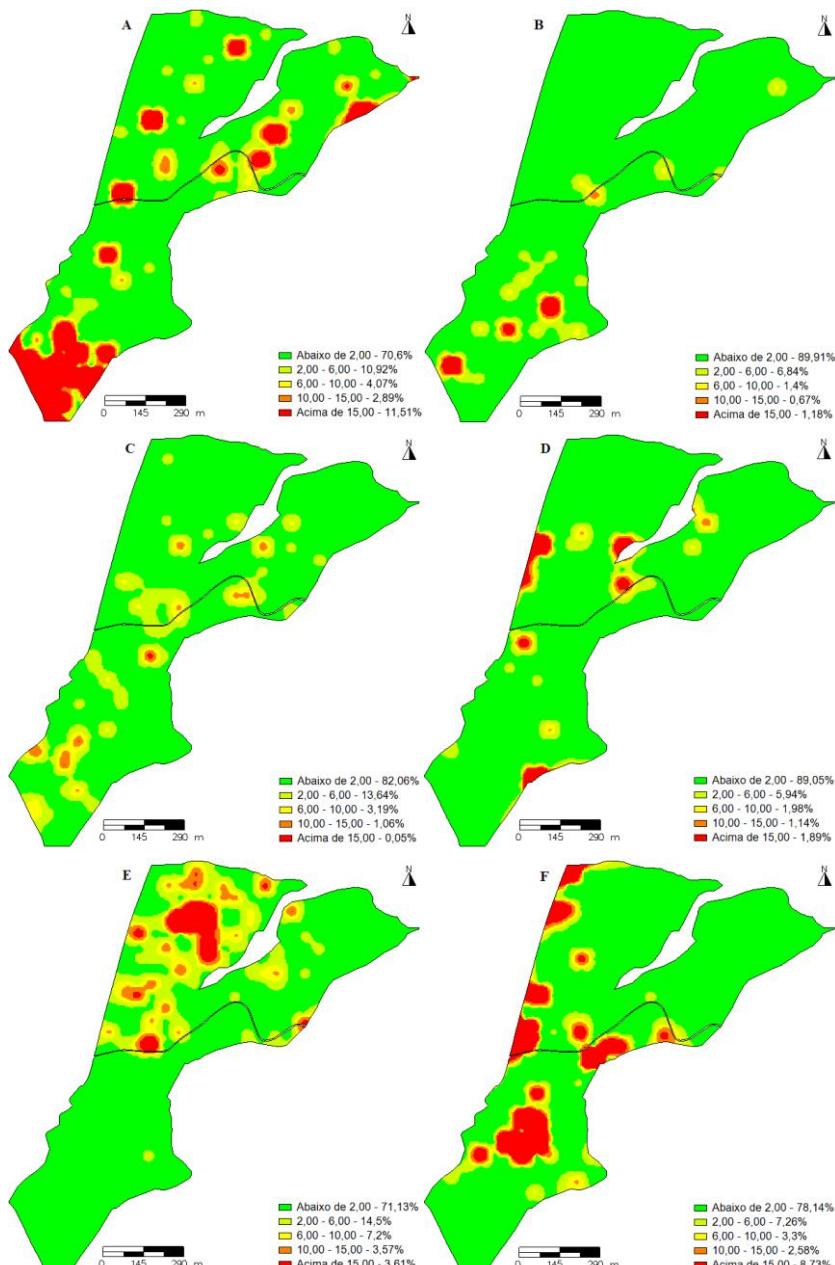


Figura 4 Variabilidade espacial de plantas daninhas na área a) *Cardiospermum halicacabum* b) *Ipomea spp.* c) *Euphorbia heterophylla* d) *Urochloa plantaginea* e) *Raphanus raphanistrum* e e) *Digitaria horizontalis*.

A espécie *R. raphanistrum* teve uma infestação muita baixa, em 71,13% do talhão e muito alta em 3,61%. Porém um ponto que merece destaque é a ocorrência de densidade da espécies entre 2 e 6 plantas m^{-2} em 14,5% da área (Figura 4e). A distribuição espacial da espécie ficou alocada em apenas uma parte do talhão, fato este ocorrido devido ao manejo utilizada na propriedade em safras anteriores, na qual esta parte do talhão foi utilizada para rotacionar a área utilizando plantas de cobertura, entre as quais estavam a *R. raphanistrum*. Esse comportamento é pode ser comparado pela alta frequência relativa da espécies (Tabela 2).

De acordo com estudo realizado por Balastreire & Baio,(2001), a metodologia utilizada e avaliada para o mapeamento de plantas daninhas pelo contorno das reboleiras, mostrou-se adequada às condições analisadas. Pôde-se obter os mapas de plantas daninhas passíveis de serem utilizados para a aplicação localizada de defensivos, observando-se três condições de infestação de plantas daninhas no campo experimental: baixa ou nula, média, e alta infestação.

As plantas daninhas, Magnoliopsidas e Liliopsidas, apresentaram estrutura de distribuição espacial definida, permitindo o uso da análise geoestatística, e o mapeamento das plantas daninhas apresenta uma estrutura de ocorrência do tipo agregada que pode favorecer a aplicação localizada de herbicidas (Chiba et al., 2010).

10.3.4 Controle baseado em aplicações localizadas de herbicidas

Dentro da atual realidade desta propriedade, o manejo localizado de plantas daninhas, somente se justificaria ser realizado baseado na classe das espécies Liliopsidas e Magnoliopsidas, estabelecendo zonas de infestação. Por conseguinte, para caracterizar a variabilidade espacial com base nas famílias das espécies, cartas temáticas foram preparadas com base nas espécies cumulativos pertencentes à mesma classe (Figuras 5).

Através desses mapas é possível perceber que há uma maior infestação de plantas classificadas como Magnoliopsidas, observação essa verificada por Chiba et al. (2010), onde captaram maior número de plantas do tipo com “folhas largas”. Em geral, acredita-se que muitas destas espécies são ainda remanescentes do banco de sementes na área, quando era realizado o cultivo convencional de soja. Com a chegada da soja RR, o glifosato tornou-se o principal herbicida utilizado, e algumas das espécies encontradas podem ser tolerante ao herbicida.

Neste contexto poderíamos inferir que 68,91% da área não teria necessidade de realizar a aplicação de herbicida para o controle da classe Liliopsidas, e 28,68% para a classe Magnoliopsida, gerando uma economia de herbicidas, minimizando possíveis impactos ambientais. Como a aplicação

localizada não foi realizada, os estudos que realmente podem provar a eficiência técnica e econômica deste método de controle são sugeridas. Estudos realizados sobre o cultivo de girassol por Jurado-Exposito et al. (2005) permitiu uma economia na ordem de 81% ao aplicar herbicidas em uma taxa variável, com base no mapeamento interpolada por kriging. O mapeamento de plantas daninhas é uma importante estratégia para alcançar uma gestão sustentável e econômica dos recursos através da aplicação de volumes variados, da mesma forma, permite o acompanhamento da evolução temporal da infestação e contribui para o estabelecimento de estratégias de manejo que reduzem o período de competição com o cultivo (Jaremtchuk et al., 2008). Além disso, Biller (1998) relataram que a aplicação local, com base no conceito de controle de plantas daninhas em tempo real, pode proporcionar economias de herbicidas de 30 a 100% de eficiência no controle. Tecnologias de controle de seção dos pulverizadores, tanques para diferentes ingredientes ativos e controle de volume de pulverização estão totalmente desenvolvidos, mas a maior limitação continua a ser a identificação de espécies de plantas daninhas em tempo real (Berge et al., 2008).

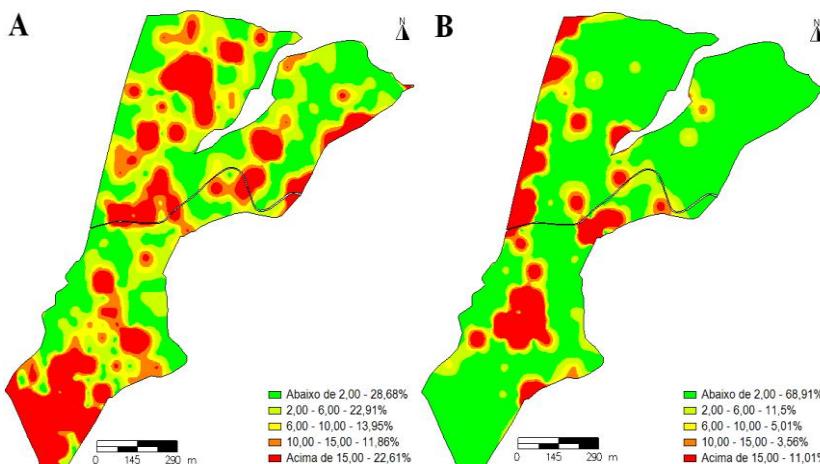


Figura 5 Variabilidade espacial de plantas daninhas de acordo com sua classe botânica.
a) Magnoliopsidas, b) Liliopsidas.

10.4 Conclusões

Estratégias de gestão localizadas, considerando-se a variabilidade espacial das espécies de plantas daninhas agrupados nas classes Magnoliopsida e Liliopsida, tem alto potencial para uso no cultivo de soja.

Com a evolução dos casos de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas, estudos de caso, como este, deve ser conduzido com maior

frequência, a fim de acompanhar a dinâmica populacional de plantas daninhas que ocorrem nas lavouras e, assim, auxiliar na tomada de decisão para o seu controle.

Agradecimentos

Estamos gratos apreciar o Sr. Eliseu Schaedler eo Sr. Eduardo Dauvé para odisponibilidade da área experimental e o apoio para realizar a pesquisa.

Literatura citada

BALASTREIRE, L. A.; BAIO, F. H. R. Avaliação de uma metodologia prática para o mapeamento de plantas daninhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, p. 349-352, 2001.

BERGE, T. W.; AASTVEIT, A. H.; FYKSE, H. Evaluation of an algorithm for automatic detection of broad-leaved weeds in spring cereals. **Precision Agriculture**, v. 9, p. 391-405, 2008.

BILLER, R.H. Reduced Input of Herbicides by Use of Optoelectronic Sensors. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.71, p. 357–362, 1998.

CAMICIA, R.F.M.; MAGGI, M.F.; SOUZA, E.G.; JADOSKI, S.O.; CAMICIA, R.G.M.; MENECHINI, W. Selection of grids for weed mapping. **Planta Daninha**, v. 33, p. 365-373, 2015.

CARVALHO, L. B.; BIANCO, S.; GUZZO, C. D. Interferência de *Euphorbia heterophylla* no crescimento e acúmulo de macronutrientes da soja. **Planta Daninha**, v. 28, p. 33-39, 2010.

CARVALHO, L. B.; PITELLI, R. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; BIANCO, S.; GUZZO, C. D. Interferência e estudo fitossociológico da comunidade infestante em beterraba de semeadura direta. **Planta Daninha**, v. 26, p. 291-299, 2008.

CHIBA, M. K.; FILHO, O. G.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial e temporal de plantas daninhas em latossolo vermelho argiloso sob semeadura direta. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, p. 735-742, 2010.

CHRISTENSEN, S.; WALTER, A. M.; HEISEL, T. The patch treatment of weeds in cereals. **Porceedings of Brighton Conference on Weeds**, v. 15. p. 1-4, 1999.

DEUBER, R. **Ciência das plantas infestantes:** manejo. Campinas: 1997. v. 2, 285 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Embrapa Solos, 2006.

GERHARDS, R.; WYSE-PESTER, D. Y.; MORTENSEN, D.; JOHNSON, G. A. Characterizing spatial stability of weed population using interpolated maps. **Weed Science**, v. 45, p. 108-119, 1997.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. **A agricultura de Precisão com o CR Campeiro 7.** Manual do usuário. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia Rural/Laboratório de Geomática. p. 319, 2007.

JAREMTCHUK, C. C.; CONSTANTIN, J.; OILVEIRA JUNIOR, R. S.; BIFFE, D. F.; ALONSO, D. G.; ARANTES, J. G. Z. Efeito de sistemas de manejo sobre a velocidade de dessecação, infestação inicial de plantas daninhas e desenvolvimento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, p. 449-455, 2008.

JURADO-EXPOSITO, M.; LOPÉZ-GRANADOS, F.; GONZÁLEZ-ANDÚJAR, J. L.; GARCIA-TORRES, L. Characterizing population growth rate of *Convolvulus arvensis* in weath-sunflower no-tillage systems. **Crop Science**, v. 45, p. 2106-2112, 2005.

MEROTTO JR., A.; BREDEMEIER, C. Agricultura de precisão aplicada aos NCD de infestantes. In: VIDAL, R. et al. **Nível crítico de dano de infestantes em culturas anuais**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 99-121.

MEROTTO JR., A.; BREDEMEIER, C.; VIDAL, R.A.; GOULART, I.C.G.R.; BORTOLI, E.D.; ANDERSON, N.L. Reflectance indices as a diagnostic tool for weed control performed by multipurpose equipment in precision agriculture. **Planta Daninha**, v. 30, p. 437-447, 2012.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961, 46 p.

PITELLI, R. A. Interferências de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informativo Agropecuário**. v. 11, p. 16-27, 1985.

RADOSEVICH, S.; HOLT, J.; GHERSA, C. **Weed ecology: implications for vegetation management**. 2. ed. New York: Wiley, 1997. 589 p.

SARTORI, L. R.; GALO, M. L. B. T.; IMAI, N. N. Mapeamento de Plantas Daninhas em cultura de Café a partir de imagens multiespectrais de escalas grandes usando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, p.165-169, 2009.

SHIRATSUCHI, L. S. **Mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas com a utilização de ferramentas de agricultura de precisão**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Dissertação (mestrado em fitotecnia) – Universidade de São Paulo, 2001, 96 p.

SHIRATSUCHI, L. S.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Aplicação localizada de herbicidas em pós-emergência na cultura de soja. **Planta Daninha**, v.20, p.71-76, 2002.

SHIRATSUCHI, L. S.; FONTES, J. R. A.; RESENDE, A. V. Correlação da distribuição espacial do banco de sementes de plantas daninhas com a fertilidade dos solos. **Planta Daninha**, v. 23, p. 249-436, 2000.

SILVA Jr., M. C.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; GÓMEZ-GIL, J.; NAVAS-GRACIA, L. M. Weed mapping using a machine vision system. **Planta Daninha**, v. 30, p. 217-227, 2012.

SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. B. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. **Acta Scientia Agronomy**, v. 30, p. 589-596, 2008.

SOUZA, R. O.; RUEDELL, J. **Levantamento populacional das principais plantas daninhas nos cultivos de verão**: relatório técnico - safra 1993. Cruz Alta: Fundacep/Fecotrigó, p.5, 1993.

TIMMERMANN, C. The economic impact of sitespecific weed control. **Precision Agriculture**. v. 4, p. 249-260, 2003.

VARGAS, L.; NOHATTO, M. A.; AGOSTINETTO, D.; BIANCHI, M. A.; PAULA, J. M.; POLIDORO, E.; TOLEDO, R. E. Práticas de manejo e a resistência de *Euphorbia heterophylla* aos inibidores da als e tolerância ao glifosato no Rio Grande do Sul. **Planta Daninha**, v. 31, p. 427-432, 2013.

VOLL, E. Agricultura de precisão: manejo de plantas daninhas. In: **Princípios em agricultura de precisão**, p. 203-236, 2000.

VOLL, E.; GAZZIERO, D. L. P.; BRIGHENTI, A. A. M.; ADEGAS, F. S. Competição relativa de espécies de plantas daninhas com dois cultivares de soja. **Planta Daninha**, v. 20, p. 17-24, 2002.

VOLL, E.; GAZZIERO, D. L. P.; BRIGHENTI, A. A. M.; ADEGAS, F. S. **Dinâmica das plantas daninhas e práticas de manejo**. EMBRAPA-CNPSO, 2005, 85 p.

WALTER, A. M.; HEISEL, T.; CHRISTENSEN, S. Shortcuts in weed mapping. In: **European conference on precision agriculture**, Oxford: BIOS Scientific Publishers. v. 2, p. 777, 1997.

WU, H.; WALKER, S. Germination, persistence and emergence of flaxleaf fleabane (*Conyza bonariensis* [L.] Cronquist). **Weed Biology Management**, v. 7, p. 192-199, 2007.

CAPÍTULO 11

Definição de zonas de manejo utilizando “*multi-layers*” e sensoriamento “*on-the-go*”: Definições e usos

Raí Augusto Schwalbert¹, Geomar Mateus Corassa²,
Telmo Jorge Carneiro Amado³

Resumo

A variabilidade espacial é uma característica inerente das áreas agrícolas. Essa variabilidade pode ser explicada pela heterogeneidade de atributos de solo ou por fatores de difícil modificação como: elevação, declividade, textura, profundidade de horizonte. Nesses casos a divisão da área em regiões geográficas menores, com diferentes potências produtivas, conhecidas como zonas de manejo, e visando a orientação das intervenções tem sido proposta como alternativa. Entre os benefícios que essa técnica tem propiciado destacam-se: o uso racional de insumos e o incremento na produtividade e do retorno econômico em virtude do ajuste sítio-específico de população de plantas, genótipos e fertilizantes. Assim, esse trabalho tem por objetivo discutir as questões relacionadas às principais técnicas utilizadas para delimitação das zonas de manejo em áreas produtoras de grãos, considerando abordagens baseadas em mapas de produtividade, atributos de solo de difícil modificação, sensoriamento de solo ou ainda abordagens baseadas na integração das técnicas anteriores. Além disso, o trabalho tem por propósito discutir protocolos, incluindo técnicas de filtragem, interpolação e análises de agrupamento para delimitação das zonas de manejo, além de ferramentas utilizadas para o levantamento de dados. Outro ponto abordado diz respeito aos principais softwares desenvolvidos com a finalidade de geração de zonas de manejo, principalmente aqueles gratuitos e com uma interface amigável com intuito de facilitar o acesso do público geral, como agricultores e prestadores de serviço. O sucesso quanto a aplicabilidade das zonas de manejo e a sua interação com técnicas de manejo e o potencial genético das culturas emerge como uma nova ferramenta dentro da agricultura de precisão, capaz de impulsionar a eficiência produtiva nos campos de produção.

Palavras-chave: agricultura de precisão, atributos de solo, manejo, otimização

¹ Pós-graduando. UFSM - PPGCS/Universidade Federal de Santa Maria, Campus sede. Av. Roraima nº 1000, Santa Maria – RS. E-mail: rai.schwalbert@hotmail.com

² Doutorando em Engenharia Agrícola. UFSM. Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria - RS, CEP: 97105-900. E-mail: geomarmateus@hotmail.com

³ Engº Agrº, Dr. Professor Titular do Departamento de Solos da UFSM. E-mail: florestatel@hotmail.com

Delimitation of management zones by multi-layers and on-the-go soil sensing: Definitions and uses

Abstract

Spatial variability is an inherent characteristic of agriculture fields. This variability can be explained by soil attributes heterogeneity or by factor of hard modification as: elevation, slope, texture, horizon depth. In these cases, the split of the area in smaller geographic regions, with different yield potential, also known as management zones is an alternative. Among the benefits that this technique has been propitiating can be highlighted the rational use of mineral fertilizers and the increase in grain yield and economic return due to site-specific adjustment of plant population, genotypes and fertilizers. Hence, this chapter aim at discussing the questions related to the mainly techniques utilized to delimitation of management zones in agriculture fields, considering approaches based on past yield maps, soil attributes, soil remote sensing, and one approach based on an integration of the previous techniques. Moreover, this chapter has for purpose to discuss protocols, including filtering, interpolation and cluster analysis for management zones delimitation, and show some tools used for data acquisition. Another point discussed is related to the main software developed aiming at generating management zones, mainly the free ones with a friendly interface aiming at facilitating the public access by farmers and dealers. The success of the management zones applicability and its interaction with management techniques and crop genetic potential, emerges as a new precision agriculture tool, capable of boosting productive efficiency in agriculture fields.

Keywords: precision agriculture, soil attributes, management, optimization.

11.1 Introdução

A agricultura de precisão tem como premissa o manejo da lavoura respeitando a variabilidade espacial dos principais fatores que determinam o desempenho das culturas. Com isto, objetiva-se otimizar o retorno econômico priorizando a alocação de insumos nos locais com maior probabilidade de resposta, a eliminação de fatores limitantes à produtividade como teores de nutrientes abaixo do nível crítico e intervenções de manejo sítio-específico como ajuste na população de plantas e no material genético que resultem no aumento da produtividade.

Na agricultura de precisão a amostragem de solo em malha tem sido uma eficiente ferramenta para orientar o manejo da fertilidade, identificando pontos com teores abaixo do crítico que devem ser corrigidos através da fertilização a taxa variada de fósforo, potássio e corretivos. Transcorridos uma década da introdução da agricultura de precisão no Brasil, acreditava-se que com a amostragem intensa do solo e fertilização a taxa variada as principais causas da variabilidade da produtividade das culturas de grãos estariam equacionadas, porém o que se observou foi que uma significante persistência na variabilidade no desempenho das culturas nos campos de produção ainda existe (Schepers et al., 2000). Esse comportamento pode ser explicado, em parte, pela

existência de regiões dentro do campo de produção que apresentam características diferentes, de difícil alteração ao longo do tempo (relevo, exposição solar, profundidade de horizontes, textura, capacidade de armazenagem de água, entre outras) e que, portanto, apresentam diferentes potências de produtividade, impossibilitando um desempenho vegetal homogêneo na área.

Essas regiões são definidas como zonas de manejo, que segundo Velandia (2006) são áreas geográficas que uma vez delimitadas podem ser tratadas como homogêneas. Neste caso, a variabilidade dentro da zona é menor do que entre as zonas. A partir de então, as intervenções de manejo deveriam ser prescritas especificamente para cada zona de manejo considerando os fatores limitantes de produtividade existentes em cada uma delas (Doerge, 1999). O conceito de unidades de manejo foi proposto inicialmente, no começo da década de 1990 (Lark & Stafford, 1997) porém o termo zonas de manejo tem sido mais amplamente utilizado. Conceitualmente, existem diferenças entre os termos, unidade de manejo, zona de manejo e classe de manejo, segundo Pedroso et al. (2010) e Taylor et al. (2007), zona de manejo se refere à uma área espacialmente contígua para qual um tratamento particular pode ser aplicado, enquanto classe de manejo é a área sobre a qual um tratamento particular pode ser aplicado, não precisando ser espacialmente contígua, de maneira que, zonas de manejo diferentes podem compor uma mesma classe de manejo, isso é comum quando classificamos as zonas de manejo em baixo, médio e alto potencial produtivo, assim, duas zonas de manejo diferentes poderiam ser classificadas como de alta potencial produtivo por exemplo, na figura 1 existem 6 zonas e 3 classes de manejo, por último, a unidade de manejo é um termo genérico que relaciona classes de manejo e zonas de manejo. Independente dessas classificações, no Brasil, o termo “zona de manejo”, têm sido adotado de maneira preferencial entre os produtores, por isso, este será o termo utilizado no decorrer deste capítulo.

Para a delimitação das zonas de manejo diferentes abordagens têm sido propostas, as primeiras, baseadas no desempenho das plantas no campo produtivo levando em conta principalmente o mapeamento da produtividade. Essa estratégia de definição de zonas de manejo é eficiente (Flowers et al., 2005; Hörbe et al., 2013) e relativamente simples, consistindo basicamente na normalização dos mapas de produtividade e posteriormente na sobreposição destes, porém apresenta como limitações o fato de necessitar de diversos mapas de diferentes anos para uma delimitação confiável, considerando que a variabilidade espacial da produtividade pode ser estável através do tempo ou variar em diversos graus de ano para ano (Lawes & Robertson, 2011; Pierce & Nowak, 1999), e, além disso, o critério para separação das classes de produtividade é feito de maneira arbitrária por um técnico, podendo resultar em um viés.

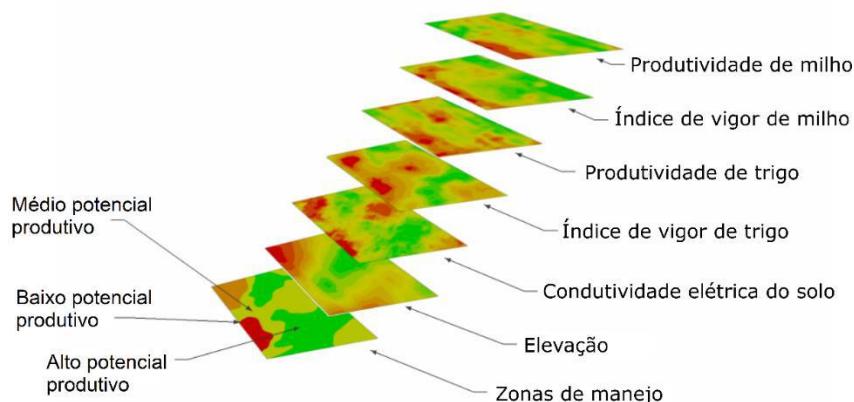


Figura 1 Sobreposição de diferentes *layers* para delimitação de zonas de manejo.

Uma segunda abordagem leva em conta informações de relevo e de propriedades do solo de difícil modificação pelo manejo tais como textura, mineralogia, profundidade de horizonte superficial, e a condutividade/resistividade elétrica, normalmente dando-se preferência a informações mapeadas com alta resolução. Nesse contexto, fica evidenciado a importância do uso de sensores de solo “on-the-go”, capazes de realizar leituras de características de solo com alta resolução espacial e com baixo custo. O uso de sensoriamento de solo será abordado com maiores detalhes a seguir.

Ainda uma terceira abordagem combina as duas primeiras, sobrepondo camadas de informações (*layers*) visando estabelecer as zonas de manejo (Ortega & Santibáñez, 2007) (Figura 1). Essa combinação é uma metodologia muito interessante, principalmente quando se possui restrito histórico de mapas de produtividade, uma vez que a variabilidade temporal associada a fatores climáticos pode influenciar as zonas de manejo delimitadas exclusivamente por mapas de colheita (Fraissee et al., 2001).

11.2 Delimitação de zonas de manejo em áreas de produção agrícola

Apesar de existirem diferentes metodologias para a delimitação de zonas de manejo, alguns passos podem ser considerados comuns para a maioria delas, como, por exemplo, a filtragem e a interpolação dos dados, para geração de mapas. O processo de filtragem é importante pois elimina erros ocorridos durante o processo de aquisição dos dados, como erros no

posicionamento GPS, pontos com dados ausentes, dentre outros erros decorrentes da má calibragem, operação ou mal funcionamento de equipamentos. O processo de filtragem também visa eliminar *outliers*, caracterizados como valores atípicos fora do padrão geral de distribuição do grupo de dados; e *inliers*, caracterizados como valores que apesar de não estarem fora do padrão geral de distribuição, diferem significativamente dos seus vizinhos (Córdoba et al., 2016).

Dando sequência ao processo de delimitação de zonas de manejo o próximo passo diz respeito a interpolação, com o objetivo de estimar os valores dos atributos em locais onde eles não foram amostrados. Esse procedimento é necessário pois nas etapas subsequentes da delimitação das zonas de manejo é necessário que haja uma coincidência de coordenadas para os diferentes atributos. Segundo Córdoba et al. (2016) e Taylor et al. (2007) um tamanho de grade de 10 x 10 m é normalmente adequado, evitando problemas de processamento derivados de grids muitos densos, mas mantendo uma resolução adequada para visualização dos dados e posteriores para análises geoestatísticas. A decisão quanto ao processo de interpolação utilizado pode depender de diferentes fatores, como a natureza, a quantidade e a densidade de amostragem dos dados. Análises geoestatísticas como a krigagem ordinária ou métodos mais simples como o inverso da distância ponderada são comuns na agricultura de precisão.

Uma vez que todos os dados estiverem devidamente interpolados, de maneira que todos os atributos estejam representados nas mesmas coordenadas, a próxima etapa é a delimitação propriamente dita. Para isso se torna necessário o uso de aproximações matemáticas, destacando-se os algoritmos de agrupamento (*cluster*). Diversos algoritmos como, método ISODATA (FRAISSE et al., 2001; GUASTAFERRO et al., 2010), abordagens não-paramétricas, (Aggelopooulou et al., 2013), abordagens hierárquicas (Fleming et al., 2000) e fuzzy k-means/c-means (BEZDEK et al., 1981), têm sido bastante utilizados para delimitar zonas de manejo, porém não existe nenhum algoritmo universal sendo largamente dito como padrão. O objetivo básico destas análises é o agrupamento de indivíduos similares dentro de distintas classes, chamadas *clusters*, seguindo uma medida de dissimilaridade, como a distância Euclidiana por exemplo. Muitas vezes, existem restrições para a aplicação de alguns desses algoritmos, como por exemplo a homogeneidade das variâncias e a inexistência de variáveis auto correlacionadas, por esse motivo torna-se comum a utilização de ferramentas estatísticas para contornar estas limitações, como é o caso da análise de componentes principais (ACP).

A ACP é uma técnica estatística multivariada que linearmente transforma um grupo de dados de diversas variáveis em novas variáveis. Na prática, ela transforma variáveis interdependentes em variáveis independentes, essa transformação linear permite que o conjunto de dados originais seja comprimido dentro de um grupo substancialmente menor de variáveis não correlacionadas,

os componentes principais, os quais representam a maior parte da informação contida no conjunto de dados original (Afifi & Clark, 1996), e permite, por exemplo, o uso da distância Euclidiana como medida de dissimilaridade (Guastaferro et al., 2010).

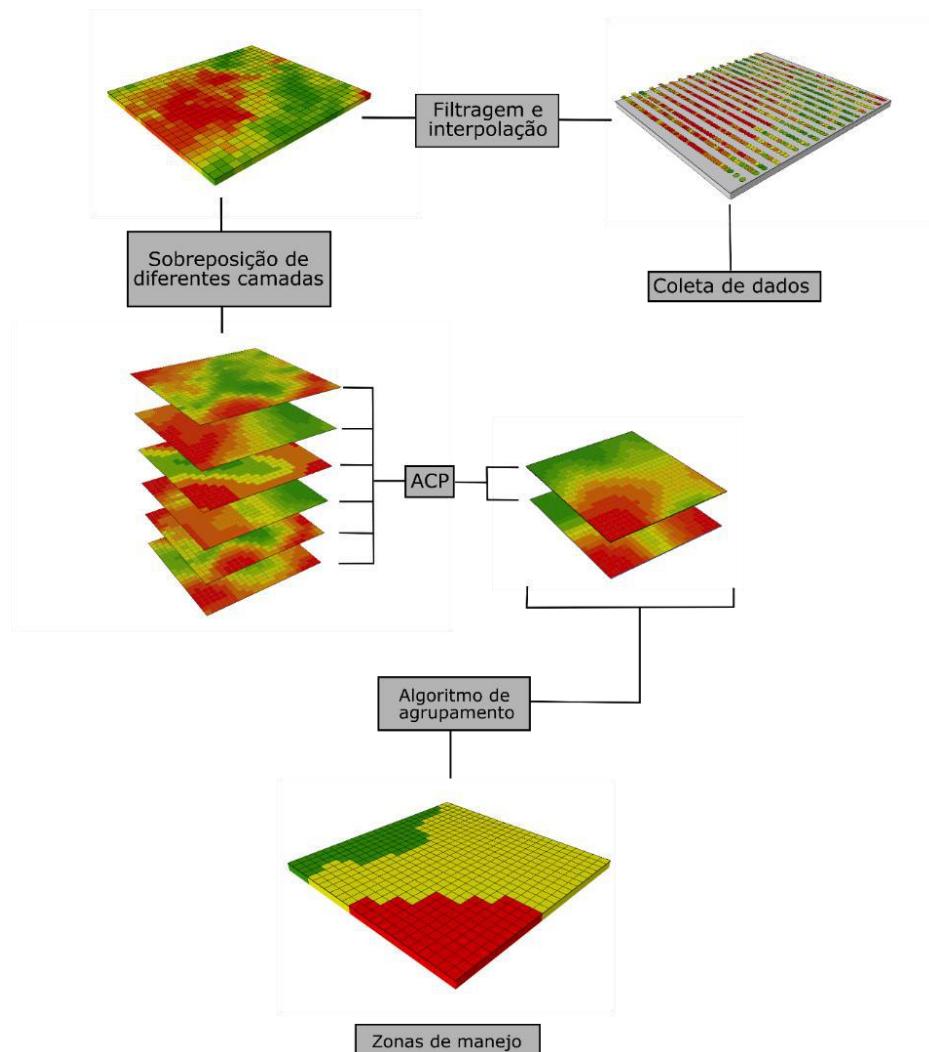


Figura 2. Fluxograma teórico para a delimitação de zonas de manejo utilizando "multi-layers".

11.3 Uso do sensoriamento “on-the-go” do solo para a delimitação de zonas de manejo

Visando a simplificação e ao mesmo tempo a complementação de processos e informações que demandam maior tempo para serem obtidos e que visam a delimitação de zonas de manejo, o mapeamento “on-the-go” do solo tem sido proposto (Adamchuk et al., 2004). Esse conceito tem sido aprimorado como uma alternativa rápida, de baixo custo e capaz de caracterizar as diferenças existentes (variabilidade) em um campo de produção (Adamchuk et al., 2004; Molin et al., 2005; Peralta et al., 2013; Machado et al., 2006). Nos últimos anos, um grande esforço tem sido gerado para o desenvolvimento de sensores capazes de fornecer esse tipo de informação (Lund et al., 1999, Adamchuk et al., 2004), uma vez que o número de equipamentos disponíveis comercialmente ainda é baixo, comparativamente aos avanços tecnológicos disponíveis em outras áreas do conhecimento. Por este motivo e a partir de parcerias entre empresas privadas e universidades, o desenvolvimento de sensores de solo tem sido impulsionado nesta última década. Mesmo assim, grande parte dos sensores gerados ainda enfrentam dificuldades quando a sua aplicabilidade a campo (tempo de leitura, velocidade, geração de dados confiáveis), especialmente em áreas agrícolas no sul do Brasil, onde predomina o sistema plantio direto. Diferente das condições encontradas em sistemas de cultivo em países da América do Norte e Europa, onde o preparo do solo é praticado de forma frequente, no sul do Brasil a presença de grande quantidade de palhada em superfície tem dificultado o seu uso em alguns casos.

Se tratando dos sensores comercialmente disponíveis, um fator importante a ser destacado, diz respeito ao fato de que grande parte destes apresenta relação ou tem suas leituras afetadas por mais de um atributo de solo (Adamchuk et al., 2004). Por este motivo, os primeiros sensores desenvolvidos foram utilizados de forma ampla como ferramenta para a detecção da variabilidade espacial dos campos de produção, sem considerar o atributo limitante. Assim, os conceitos de precisão e exatidão foram aplicados aos testes de campo em momentos distintos. Em um primeiro momento o objetivo foi verificar a precisão dos sensores, ou seja, a sua capacidade em repetir a sua própria medida no mesmo local da lavoura, o que já validaria o seu uso para a detecção da variabilidade espacial. Em segundo momento a exatidão foi então analisada, ou seja, a sua capacidade em se correlacionar com uma propriedade específica do solo, determinada por um método tradicional de análise. Estes estudos vêm sendo aprimorados a cada dia.

Dentre os sensores mais difundidos, destacam-se os de resistividade/conduтивidade ou capacidade elétrica; sensores ópticos e que atuam dentro do solo (Vis- NIR) e sensores eletroquímicos que utilizam membranas seletivas para detectar a atividade de íons, tais como hidrogênio, potássio e nitrato. No entanto, grande parte dos trabalhos em agricultura de

precisão no sul do Brasil, visando a delimitação de zonas de manejo estão ligados ao uso da condutividade elétrica. O princípio de funcionamento dos sensores de condutividade elétrica está baseado na emissão de uma corrente elétrica ao solo (círculo eletromagnético). Deste modo, em função das alterações nas condições locais do solo, a transmissão de corrente elétrica é alterada e a variabilidade espacial do solo é captada (Lund et al., 1999; Adamchuk et al., 2004; Corwin et al., 2006; Machado et al., 2006). Assim, a condutividade elétrica (CE) é uma função da capacidade do solo em conduzir corrente elétrica através da solução do solo, partículas sólidas e cátions trocáveis presentes na superfície dos argilominerais (Corwin & Lesch, 2003).

Dentre os que foram utilizados em condições do sul do Brasil, destaca-se o sensor VERIS 3100 (Lund et al., 1999). Este sensor fornece leituras de condutividade elétrica aparente (CEa), e que não requerem a padronização da relação solo-água (Machado et al., 2006). A CEa obtida, apresenta elevada relação com a condutividade elétrica medida em laboratório (Lund et al., 1999; Sudduth et al., 2005). De forma simplificada, o seu funcionamento consiste na emissão de uma corrente elétrica por dois discos intermediários, enquanto que dois discos internos e dois discos externos detectam a diferença de potencial que ocorre no campo eletromagnético gerado no solo e resultante da corrente elétrica aplicada, conforme ilustrado na Figura 1. O par de discos internos integra a resistência entre as profundidades de 0 e 30 cm, enquanto o par de discos externos integra a resistência entre 0 e 90 cm (Lund et al., 1999; Machado et al., 2006). Instantaneamente a queda de voltagem é convertida em condutividade elétrica e toda a informação é gravada e armazenada em um registrador de dados. Todos os discos apresentam contato direto com o solo.

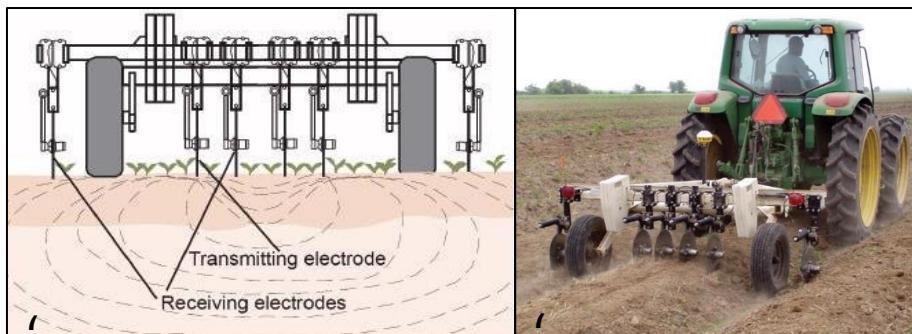


Figura 3 Disposição do discos para indução de corrente elétrica no solo na determinação da condutividade elétrica aparente pelo sensor Veris 3100 (A) e sensoriamento “on-the-go” sendo efetuado (B). Fonte: Lund et al. (1999).

Atualmente, existem inúmeros sensores comerciais a nível mundial, como por exemplo: Veris® 3100 (Veris Technologies, Salina, Kansas), EM-38-

MK2 (Geonics Limited), Soil Doctor System (Crop Technology Inc.), Dualem 1S (Dualem Products), LandMapper ERM-01 (Landviser, LLC), Geophilus Electricus (Lück & Rühlmann, 2010), dentre outros, cada qual com suas peculiaridades e capazes de fornecer inclusive outras informações, além da CEa. Entretanto, os sensores Veris 3100 e EM-38-MK2, podem ser considerados os mais difundidos para o sensoriamento “on-the-go”, no sul do Brasil, sendo que este último, trabalha sem a necessidade de contato direto com o solo. Diferentemente do sensor Veris 3100, o sensor pode ser usado manualmente ou rebocado por quadriciclo. A coleta de dados é realizada por um sistema de aquisição de dados ou até mesmo por um computador de campo, que pode ser conectado ao sensor via cabo serial ou via Bluetooth.

Em estudos com CEa, Peralta & Costa (2013) realizaram a delimitação de zonas de manejo em solos na Argentina, enquanto que Corwin et al. (2006) espacializaram eficientemente a qualidade do solo em áreas agrícolas no estado da Califórnia (EUA). No Brasil, Machado et al. (2006) concluíram em seus estudos que a CEa refletiu a variabilidade espacial do teor de argila de um Latossolo Vermelho distroférrico do estado do Paraná enquanto que, Sana et al. (2014) observaram relações entre a CEa e os componentes de acidez de Latossolos distróficos de Goiás. Outros trabalhos também relatam relações entre CEa e a CTC, Ca e Mg (Molin et al., 2005; Molin & Castro, 2008), dentre outros. Contudo, mesmo sendo observadas relações diretas com alguns atributos de solo, alguns autores têm alertado de que tais relações podem ser intrínsecas do tipo de solo e do local investigado (Corwin & Lesh, 2005; Moral et al., 2010) e que a generalização dos resultados requer cautela.

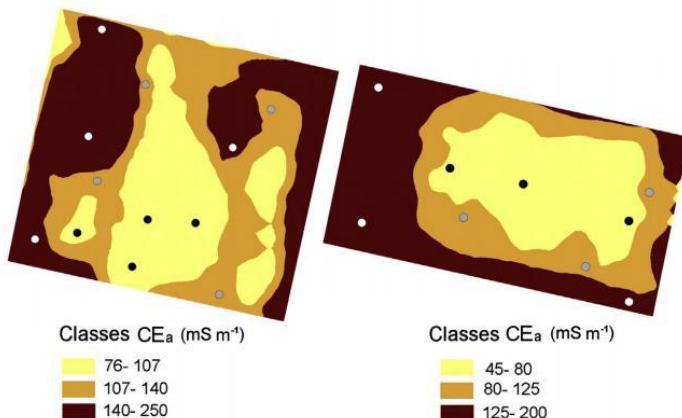


Figura 4 Zonas de manejo delimitadas a partir da condutividade elétrica visando a amostragem de solo e o manejo de nutrientes. Fonte: Peralta & Costa (2013).

Assim, o estabelecimento de relações entre a CEA e atributos de solo (fatores responsáveis pela variabilidade) devem ser realizados de forma individual para cada área de estudo. Esta prerrogativa já foi salientada por Corwin & Lesh (2005), que ao compilar trabalhos que estabeleceram relações entre a CEA e atributos do solo em todo o mundo, observaram na literatura trabalhos que encontraram relações com a salinidade do solo, com o conteúdo de água, com a textura do solo, com a matéria orgânica, dentre outros. No entanto, quando o objeto de estudo for a detecção da variabilidade espacial para fins investigativos ou complementares, a CEA tem se mostrado uma ferramenta promissora.

11.4 Determinação do número de zonas de manejo

O número de zonas de manejo é frequentemente determinado de forma arbitrária, resultando que o aumento do número de zonas nem sempre seja traduzido em maior eficiência ou maior retorno econômico das práticas adotadas. Assim, o uso de parâmetros estatísticos pode definir com acurácia o número ideal de zonas de manejo de acordo com a variabilidade espacial existente em cada área.

Dois índices estatísticos comumente usados com essa finalidade são, a Entropia da classificação normalizada (ECN), que mede a homogeneidade dentro de cada zona e o Índice de Performance Fuzzi (IPF), que mede o grau de distinção entre os grupos ou o grau de compartilhamento de indivíduos entre um grupo e outro, de maneira que, a minimização dos dois índices poderia ser utilizada como critério para a definição de zonas de manejo (Figura 5). Ainda existem outros índices que podem ser utilizados como critério para a definição do número mais adequado de zonas de manejo, como o Xie-Beni (Xie & Beni, 1991), e o Fukuyama-Sugeno (Fukuyama & Sugeno, 1989). Pode ocorrer que nenhum desses índices citados concorde com um número ótimo de zonas de manejo, assim uma combinação deles seria recomendada uma vez que muitos deles apresentam informações complementares.

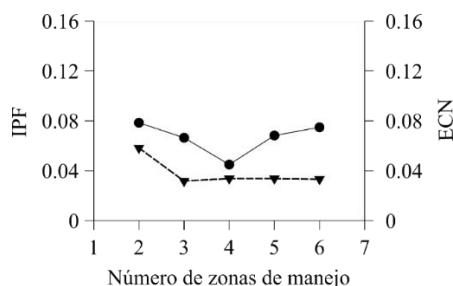


Figura 5 Índices usados para definir o número mais adequado de zonas de manejo. ECN= Entropia da Classificação Normalizada, IPF= Índice de Performance Fuzzi.

11.5 Validação das zonas de manejo

A validação pode ser considerada o último passo no processo de delimitação das zonas de manejo, neste momento será avaliado a quanto adequada foi a divisão da área nas zonas de manejo. Nesse passo será necessário a verificação de diferenças entre as zonas em termos de produtividade das culturas e variáveis de solo, isso pode ser realizado tomando algumas amostras dentro de cada zona de manejo e realizando-se teste estatísticos apropriados.

Segundo (Córdoba et al., 2016) modelos estatísticos convencionais como a ANOVA, não são adequados para avaliar diferenças entre zonas de manejo, pois os erros normalmente são espacialmente correlacionados. Dessa maneira modelos lineares mistos (MLM) são preferidos pois são capazes de considerar a correlação espacial dos dados.

11.6 Softwares

A delimitação de zonas de manejo normalmente exige um conhecimento avançado das técnicas estatísticas empregadas, como os algoritmos de agrupamento ou a ACP, porém existem alguns softwares com interfaces amigáveis permitindo maior acesso a essa prática. Entre os principais softwares utilizados destacam-se o Management Zone Analyst 1.0.1 (MZA) (Fridgen & Kitchen, 2004), e o FuzMe, (Minasny & Mcbratney, 2002), os quais apresentam grande aceitação pela comunidade científica e simplicidade de operação. Esses dois softwares utilizam do algoritmo de agrupamento fuzzy k-means/ c-means para a delimitação das zonas de manejo e estão disponíveis para download gratuito. O software Solim (Zhu, 1997) também é uma opção para a delimitação de zonas de manejo, fazendo uso principalmente de variáveis topográficas e mapas de produtividade.

Existem softwares que permitem ao usuário escolher entre diferentes métodos para a delimitação das zonas de manejo, que é o caso do SDUM (Software para Definição de Unidades de Manejo) (Bazzi et al., 2015), onde pode-se optar pelo uso de um algoritmo Fuzzy k-means/c-means, ou ainda um método empírico, mais simples, que usa a frequência de distribuição da produtividade (normal ou relativa) para dividir o talhão. É importante considerar ainda o trabalho desenvolvido por Córdoba et al. (2016), onde os autores desenvolveram um protocolo para delimitação de zonas de manejo que foi implementado na linguagem estatística R (R Core Team 2016), caracterizada por ser uma linguagem livre com grande aceitação no meio científico. O protocolo envolve limpeza e transformação de dados espaciais, bem como análises multivariadas e geoestatísticas em uma sequência lógica.

11.7 Usos e aplicação das zonas de manejo

As zonas de manejo devem ser encaradas como um novo nível hierárquico dentro do talhão, todas as práticas agrícolas agora devem ser definidas a nível de zona. Uma aplicação muito comum das zonas de manejo é para amostragem de solo, onde, ao invés de se optar por uma amostragem em “grid”, pode se optar por uma amostragem orientada por zonas de manejo, considerando as informações sobre a variabilidade dos campos previamente conhecida pelo agricultor. Na figura 6 por exemplo, nota-se que a zona representada pela cor verde possui uma baixa densidade de amostragem quando estas são realizadas em grid, porém essa densidade melhora substancialmente quando os locais de amostragem são definidos com base nas zonas de manejo. Em alguns casos, o número total de amostras pode até mesmo ser reduzido, com pouco ou nenhum impacto no resultado final, reduzindo os custos de coleta e análise.

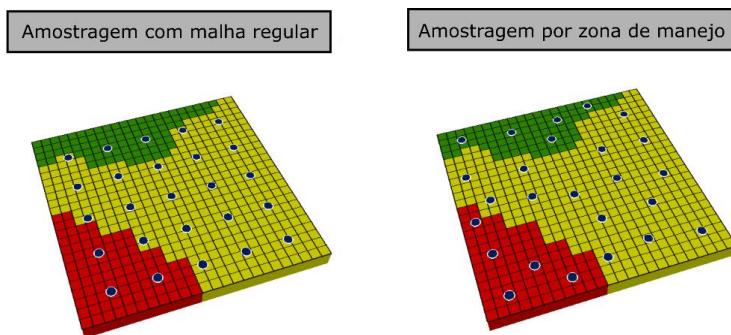


Figura 6 Comparativo entre a amostragem de solo e grid e a amostragem inteligente a partir de zonas de manejo.

Outra utilização das zonas de manejo é como critério para implementação da taxa variada de população de plantas, um exemplo disso foi o estudo de Hörbe et al. (2013) que encontrou maior retorno econômico para a cultura do milho quando do aumento da população de plantas em zonas com alto potencial de produtividade, e pela redução em zonas com menor potencial. Esses aumentos foram associados principalmente ao aumento em produtividade na zona de alta e aumento de produtividade e redução no custo de sementes na zona de baixa. Ainda, outra possibilidade é a variação de genótipos (variedades para soja e híbridos para milho) entre as zonas de manejo em uma mesma safra, podendo optar pela escolha de matérias mais rústicos e de menor potencial produtivo para zonas com maiores limitações e mateiras mais produtivos em zonas de alto potencial. Um dos primeiros estudos testando a resposta de

genótipo por zonas de manejo no Sul do Brasil foi realizado por Corassa et al. (2016b) com a cultura da soja, demonstrando que a otimização de cultivares dentro de um campo de produção pode ser uma alternativa para o incremento da produtividade.

As zonas de manejo podem também ser usadas para a fertilização a taxa variada, de uma maneira mais simplificada, onde se utilizaria uma taxa fixa para cada zona de manejo, ou em abordagens mais complexas onde a informação de zona de manejo serviria de informação complementar à sensores de cultura para a prescrição de fertilizantes em tempo real, como por exemplo, para a determinação de uma taxa alvo. Essa abordagem integrando sensores de cultura e zonas de manejo têm sido propostas em diversos trabalhos (HOLLAND & SCHEPERS, 2010; ROBERTS et al., 2012; SHANAHAN et al., 2008). A maioria dos sensores de cultura se baseiam na quantificação da radiação eletromagnética que é refletida pelo dossel de plantas em determinados comprimentos, para a geração de índices de vigor (NDVI, NDRE, GNDVI, etc.), correlacionados com o status nutricional das plantas, esses índices são então usados em algoritmos de prescrição de fertilizantes, principalmente nitrogênio. Dessa forma, prescrições realizadas em tempo real por sensores normalmente tendem a aumentar a taxa de fertilizante em locais com menor vigor em detrimento a locais com alto vigor. Porém em alguns casos, esses locais de baixo vigor não respondem eficientemente a fertilização, pois existem outros fatores limitante a produtividade nessas áreas. Esse problema poderia ser contornado se os algoritmos utilizados pelos sensores de cultura fossem aplicados especificamente para cada zona de manejo, uma vez que a resposta ao fertilizante nitrogenado, por exemplo, (taxa ótima) pode diferir significativamente de uma zona para a outra (Figura 7).

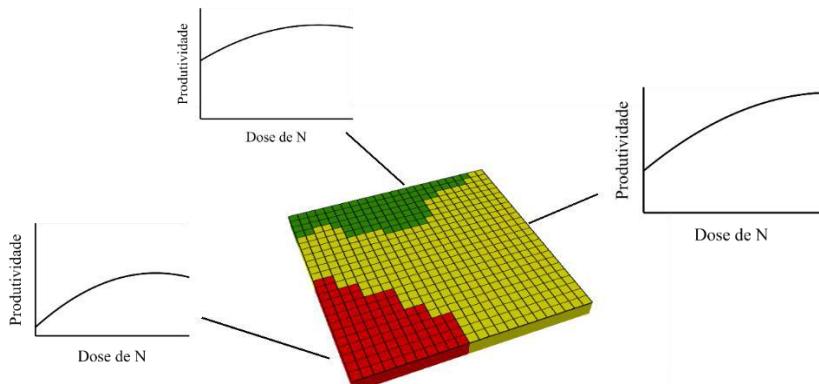


Figura 7 Modelo teórico considerando a resposta de gramíneas a nitrogênio em diferentes zonas de manejo.

11.8 Considerações Finais

A agricultura de precisão em uma de suas múltiplas vertentes baseia-se no manejo da variabilidade espacial de atributos de solo e planta e no incremento da eficiência do uso de insumos e dos recursos disponíveis ao processo produtivo, visando o incremento da produtividade e a redução de custos nas áreas de produção agrícola. Ao alcançar este objetivo o impacto ambiental é diminuído, tornando a produção mais sustentável. Em uma etapa mais avançada a definição de zonas de manejo considerando o potencial produtivo de safras anteriores cortejado com o desempenho das culturas em diferentes estádios fenológicos durante a safra em curso e atributos de solo com uma resolução que contemple subáreas que compõem os campos produtivos deve guiar o manejo, tornando mais assertiva às intervenções. O resultado desta abordagem sistêmica que engloba manejo, ambiente e genética com elevada resolução espacial dará um novo impulso à agricultura de precisão fazendo com que o produto que ela entregue se aproxime das elevadas expectativas geradas quando da sua introdução no Brasil há algumas décadas atrás.

Literatura citada

- ADAMCHUK, V. I.; LUND, E. D.; REED, T. M.; FERGUSON, R. B. Evaluation of an on the-go technology for soil pH mapping. **Precision Agriculture** v.8, p.139-149, 2007.
- AFIFI, A.; CLARK, V. Discriminant analysis. In: **Computer-aided multivariate analysis**. [s.l.] Springer, 1996. p. 243–280.
- AGGELOPOOULOU, K.; CASTRIGNANO, A.; GEMTOS, T.; BENEDETTO, D. Delineation of management zones in an apple orchard in Greece using a multivariate approach. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 90, p. 119–130, 2013.
- BAZZI, C. L. GODOY, E. BETZEK, N. M. **SDUM Software para definição de unidades de manejo: teoria e prática**. 2015, 1. ed. 124p.
- BEZDEK, J. C . CORAY, C. GUNDERSON, R. WATSON, J. **Detection and Characterization of Cluster Substructure I . Linear Structure : Fuzzy c-Lines**. [s.l.] Society for Industrial and Applied Mathematics Stable, 1981. v. 40
- CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C.; TABALDI, F.; SCHWALBERT, R. A.; REIMCHE, G. B.; DALLA NORA, D.; ALBA, P. J.; HÖRBE, T. A. N. Espacialização em alta resolução de atributos da acidez de Latossolo por meio de sensoriamento em tempo real. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**.v. 51(9). p1306-1316, 2016.

CORASSA, G. M; SANTI, A. L., AMADO, T. J. C; BISOGNIN, M. B.; GAVIRAGHI, R; PIRES, J. L. F. **Response of soybean cultivars according to management zones in Southern Brazil.** 13th International Conference on Precision Agriculture. Anais...St Louis, Missouri: 2016b.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.46, p. 11–43, 2005.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M.; OSTER, J. D.; KAFFKA, S. R. Monitoring management-induced spatio-temporal changes in soil quality through soil sampling directed by apparent electrical conductivity. **Geoderma**, v.131, p.369-387, 2006.

CÓRDOBA, M. A.; BRUNO, C. I.; COSTA, J. L.; PERALTA, N. R.; BALZARINI, M. G. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. **Biosystems Engineering**, v. 143, p. 95–107, 2016.

DOERGE, T. Defining management zones for precision farming. **Crop Insights**, v. 8, p. 1–5, 1999.

FLEMING, K. L. et al. Evaluating farmer defined management zone maps for variable rate fertilizer application. **Precision Agriculture**, v. 2, p. 201–215, 2000.

FLOWERS, M.; WEISZ, R.; WHITE, J. G. Yield-Based Management Zones and Grid Sampling Strategies. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 968, 1 May 2005.

FRAISSE, C.; SUDDUTH, K.; KITCHEN, N. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. **Transactions of the ASAE**, v. 44, p. 155, 2001.

FRIDGEN, J.; KITCHEN, N. Management zone analyst (MZA). **Agronomy Journal**, v. 96, p. 101–108, 2004.

FUKUYAMA, Y.; SUGENO, M. **A new method of choosing the number of clusters for the fuzzy c-means method.** Proc. 5th Fuzzy Syst. Symp. Anais...1989.

GUASTAFERRO, F.; CASTRIGNAO, A.; BENEDETTO, D.; SOLLITO, D.; TROCCOLLI, A.; CAFARELLI, B. A comparison of different algorithms for the delineation of management zones. **Precision Agriculture**, v. 11, p. 600–620, 2010.

HOLLAND, K.; SCHEPERS, J. Derivation of a variable rate nitrogen application model for in-season fertilization of corn. **Agronomy Journal**, v. 102, p. 1415–1424., 2010.

HÖRBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v. 14, p. 450–465, 2013.

- LARK, R.; STAFFORD, J. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. **Annals of Applied Biology**, v. 130, p. 111–121, 1997.
- LAWES, R. A.; ROBERTSON, M. J. Whole farm implications on the application of variable rate technology to every cropped field. **Field Crops Research**, v. 124, p. 142–148, 2011.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. FuzME version 3.0. **Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney, Australia**, 2002.
- LÜCK, E., RÜHLMANN, J. **GEOPHILUS ELECTRICUS - a new soil mapping system**. International Conference on Agricultural Engineering AgEng 2010. Clermont Ferrand, France, September 06–08. 2010, REF319, 2010.
- LUND, E.D; COLIN, P.E; CHRISTY, D.; DRUMMOND, P.E. Applying soil electrical conductivity technology to precision agriculture. In: ROBERT, P.C.; RUST, R.H.; LARSON, W.E. (Ed.) **Precision Agriculture**. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America; 1999. p.1089-1100.
- MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; VALENCIA, L.I.O.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.; SILVA, C.A.; ANDRADE, A.G.; MADARI, B.E.; MEIRELLES, M.S.P. Mapeamento da condutividade elétrica do solo e relação com os teores de argila de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1023-1031, 2006.
- MOLIN, J.P.; CASTRO, C.N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. **Scientia Agricola**, v.65, p.567-573, 2008.
- MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; SCHMIDHALTER, U.; HAMMER, J. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, p.420-426, 2005.
- MORAL, F. J.; TERRÓN, J. M.; MARQUES DA SILVA, J. R. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. **Soil & Tillage Research**, v.106, p.335–343, 2010.
- ORTEGA, R. A.; SANTIBÁÑEZ, O. A. Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 58, n. 1, p. 49–59, 2007.
- PEDROSO, M. et al. A segmentation algorithm for the delineation of agricultural management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, p. 199–208, 2010.

PERALTA, N. R.; COSTA, J. L. Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.99, p.218–226, 2013.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. **Advances in Agronomy Volume 67**. [s.l.] Elsevier, 1999. v. 67

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**Vienna, Austria, 2015. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>

ROBERTS, D. F.; FERGUSON, R. B.; KITCHEN, N. R.; VIACHESLAV, I. A.; SHANAHAN, J. F.; . Relationships between soil-based management zones and canopy sensing for corn Nitrogen management. **Agronomy Journal**, v. 104, p. 119–129, 2012.

SCHEPERS, J. S.; SCHLEMMER, M. R.; FERGUSON, R. B. Site-Specific Considerations for Managing Phosphorus. **Journal of Environment Quality**, v. 29, n. 1, p. 125, 2000.

SANA, R. S.; ANGHINONI, I.; BRANDÃO, Z. N.; HOLZSCHUH, M. J. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p.994–1002, 2014.

SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G.; WIEBOLD, W. J. Comparison of electromagnetic induction and direct sensing of soil electrical conductivity. **Agronomy Journal**, v.95, p.472–482, 2003.

SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; WIEBOLD, W. J.; BATCHELOR, W. D.; BOLLERO, G. A.; BULLOCK, D. G.; CLAY, D. E.; PALM, H. L.; PIERCE, F. J.; SCHULER, R. T.; THELEN, K. D. Relating apparent electrical conductivity top soil properties across the North-Central USA. **Computers and electronics in agriculture**, v.46, p.263–283, 2005.

SHANAHAN, J. F.; KITCHEN, N. R.; RAUN, W. R.; SCHEPERS, J. S.. Responsive in-season nitrogen management for cereals. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 61, p. 51–62, 2008.

TAYLOR, J. A.; MCBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M. Establishing management classes for broadacre agricultural production. **Agronomy Journal**, v. 99, p. 1366–1376, 2007.

XIE, X. L.; BENI, G. A. validity measure for fuzzy clustering. **IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence**, p. 841–847, 1991.

ZHU, A. X. A. similarity model for representing soil spatial information. **Geoderma**, v. 77, p. 217–242, 1997.

CAPÍTULO 12

Manejo de precisão: Planos de Manejo Inteligentes e Estratégias Multi-plantas

Antônio Luis Santi¹, Diego Armando Amaro da Silva², Geomar Mateus Corassa³, Cláudir José Basso¹, Júnior Melo Damiani², Lisandra Pinto Della Flora⁴, Osmar Henrique de Castro Pias², Leila Daiane Almeida dos Santos², Alencar Zachi da Fonseca⁵, Romano Augusto Martini Dal Bello⁵

Resumo

Não há dúvidas da revolução tecnológica proporcionada pelo plantio direto (SPD), principalmente no que tange à sustentabilidade do ambiente agrícola. Porém, com a expansão e modernização agrícola, tornou-se necessário o uso de ferramentas capazes de minimizar os efeitos do uso intensivo do solo, visando altas produtividades. A ilusão de que as ferramentas da Agricultura de Precisão, com abandono das técnicas de conservação do solo, vão garantir altas produtividades e sustentabilidade ambiental é um erro que conduzirá rapidamente a degradação do solo. Mediante isso, torna-se necessário o entendimento da multifuncionalidade dos sistemas de cobertura do solo, e das ferramentas inovadoras, com a associação com técnicas de manejo e gestão para resultar em uma menor variabilidade das áreas. Assim, desvendar os complexos paradigmas do SPD e suas funções complementares, transformando em resultados e qualidade do solo é um grande desafio. Esse trabalho tem por objetivo discutir as questões relacionadas às contribuições pelo uso das plantas de cobertura do solo no SPD, associadas ao futuro do manejo da variabilidade espacial dos atributos de solo e planta. Os mapas de colheita proporcionam conhecimento detalhado dos fatores produtivos, e servem de base para os Planos de Manejo Inteligentes. Por serem capazes de promover melhorias na qualidade

¹ Prof. Dr. UFSM, campus Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, Frederico Westphalen – RS, CEP: 98400-000. E-mail: santi_pratica@yahoo.com.br; claudirbasso@gmail.com

² Mestrando em Agronomia – Agricultura e Ambiente. UFSM- campus Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, Frederico Westphalen – RS, CEP: 98400-000. E-mail: damaro.agro@gmail.com; juniormelodamiani@hotmail.com; henriquepias@yahoo.com.br; daiane_as2005@hotmail.com.

³ Doutorando em Engenharia Agrícola. UFSM. Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria – RS, CEP: 97105-900. E-mail: geomarmateus@hotmail.com

⁴ Profª. Drª. Instituto Federal Farroupilha, campus Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, Frederico Westphalen – RS, CEP: 98400-000. E-mail: lisandra_cafw@yahoo.com.br

⁵ Graduando do curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, 98400-000 Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: alencarzf@hotmail.com; romanoaugusto1@hotmail.com

do solo, diminuir a variabilidade, e aumentar a produtividade, as estratégias multi-plantas mostram-se promissoras, e conduzirão a um sistema de produção economicamente viável e sustentável ao longo das safras, fruto do manejo correto do solo e plantas.

Palavras-chave: agricultura de precisão, plantas de cobertura, plantio direto, PMI

Precision management: Intelligent Management Plans and multi-plant strategies

Abstract

Doubtless the technological revolution provided by no-till especially related to the sustainability environmental. However, with the expansion and modernization of agriculture, has become necessary to use tools that can minimize the effects of intensive land use, seeking high yields. The illusion that the Precision Agriculture tools by itself will ensure high yields and environmental sustainability is a mistake that lead to soil degradation, making necessary the understanding of multifunctional systems cover crops and the uptake of new tools in association with other techniques, to result in lower variabilities. So unravel the paradigms of the no-till, turning on results and quality of the soil is a major challenge. This work aims to discuss the contributions by the use of cover crops plants in no-till associated with the future management of spatial variability of soil attributes and plant. Harvest maps provide knowledge of the area, and are the basis for Intelligent Management Plans. By being able to promote improvements in soil quality, increase yields, reduce variability, multi-plant show up promising strategies, and will lead to a production system economically viable and highly sustainable over the crops.

Keywords: cover crops, PMI, precision agriculture, no-tillage.

12.1 Introdução

A agricultura brasileira vem se destacando no cenário internacional nos últimos anos, e tem avançado como nenhuma outra na direção da sustentabilidade. Ao longo dos últimos quarenta anos, fomos capazes de transformar grandes extensões de terras pobres e ácidas em terras férteis, tropicalizar os mais variados cultivos, desenvolver uma plataforma de práticas sustentáveis sem igual no planeta – fixação biológica de N, controle biológico, Sistema de Plantio Direto (SPD) e sistemas integrados. Mas para rompermos as barreiras que resistem, das quais trataremos com melhor ênfase no presente capítulo, e entrarmos em outra revolução, teremos que lançar mão de todo um arsenal de tecnologias e conhecimentos (BERNARDI et al., 2014).

A adoção do SPD no Sul do Brasil tem proporcionado a conservação do solo, ao mesmo tempo em que suporta o aumento da produtividade das culturas agrícolas (DALLA NORA, et al., 2014), não havendo dúvidas em relação à revolução tecnológica proporcionada pelo SPD, com destaque para aquelas relacionadas à sustentabilidade do ambiente agrícola e das propriedades. No entanto, ainda existem dúvidas quanto à condução das estratégias de manejo

ao longo dos anos com base nesse sistema conservacionista de gestão do solo e das culturas (SANTI et al., 2014).

Porém, com a expansão e modernização da agricultura, tornou-se cada vez mais necessário o uso de ferramentas capazes de minimizar os efeitos resultantes da maior intensidade do uso das terras (BALSAN et al., 2006), visando altas produtividades. Além disso, como a adoção de novas tecnologias, associadas ao manejo do solo e das culturas como é o caso da Agricultura de Precisão (AP), torna-se necessário um entendimento mais amplo em relação à multifuncionalidade dos sistemas envolvendo a cobertura do solo, e a compreensão de que ferramentas inovadoras, podem não ser sustentáveis sozinhas, necessitando a associação com outras técnicas para que o manejo dos processos que culminam com uma maior ou menor variabilidade nas áreas agrícolas.

A (AP) tem tido excelente contribuição para a evolução dos patamares produtivos nos últimos anos, dos quais se destacam: o uso de instrumentos de navegação por satélite nas máquinas agrícolas, o mapeamento da variabilidade de fertilidade dos solos, a aplicação de fertilizantes e corretivos com taxas variáveis, monitoramento instantâneo de condições de planta, controle georreferenciado de pulverizações e a utilização de mapas de produtividade (SANTI et al., 2013).

O solo é o produto de uma complexa interação de fatores pedogenéticos, que resulta na ocorrência da variabilidade espacial de seus atributos (CANTARUTTI et al., 2007; GIRARDELLO et al., 2014). Já a variabilidade produtiva, irá continuar a existir mesmo após correções a taxa variada, sendo de ordem física ou biológica principalmente – após as correções químicas - evidenciando que temos de repensar nossas ações, e amenizar as fontes de variabilidade sobre os atributos de solo e planta, quaisquer forem sua natureza. Liaghate & Balasundram (2010) indicaram que devido ao seu caráter inovador, a AP deveria incluir três assuntos principais nos seus protocolos: (1) reunir informações sobre variabilidade espacial; (2) discutir métodos de processamento de dados de maneira a avaliar o significado da variabilidade; e (3) implementar mudanças no gerenciamento dos insumos (FLORES & ALBA, 2014), mostrando que se deve estar mais atento as nossas intervenções.

O pensamento ou a promessa de que amostragem georreferenciada de solo e planta, elaboração de mapas temáticos de atributos, aplicação em taxa variada de corretivos e fertilizantes, manejo de nitrogênio baseado em sensores em tempo real, uso de imagens aéreas e de outras tecnologias proporcionadas pela AP, por si só, vão garantir altas produtividades e sustentabilidade econômica e ambiental, é um erro que conduzirá, em poucos anos, a degradação do sistema solo. Precisamos ter a percepção, de que por mais que o conhecimento do manejo das principais culturas venha aumentando de forma organizada e haja incorporação rápida das inovações tecnológicas, ainda faltam ferramentas que auxiliem no processo de informações obtidas nos talhões de

cultivo, na tomada de decisão e na operacionalização de manejo diferenciado (RESENDE & VILELA, 2011), principalmente no que tange a melhor administração da AP, extraíndo mais dos resultados que se possui, sendo nesse ponto, que este capítulo pretende abordar, no avanço das tomadas de decisão.

A utilização de plantas de cobertura do solo dentro do esquema de rotação de culturas é considerada um dos pilares essenciais para o sucesso SPD, promovendo inúmeros benefícios ao solo, tais como: maior proteção contra o impacto direto das gotas de chuva, favorecimento da infiltração, redução da perda de água por escoamento superficial e da perda de solo e nutrientes por erosão (HERNANI et al., 1999; CRUSCIOL & SORATTO, 2007).

O posicionamento de plantas não é exatamente algo novo, já se faz isso desde os primórdios da agricultura, deixando para produzir grãos nas regiões onde se adaptem melhor, selecionando um nabo forrageiro, por exemplo, para uma área com problemas de compactação, seja por pisoteio animal ou do trânsito de máquinas, as aveias quando há a necessidade de se aumentar o volume de palhada, entre outras. Porém, sempre trabalhando de uma forma generalizada e homogênea. Sabe-se há alguns anos, nos mais diferentes conceitos da AP, que são necessárias mudanças para que se entenda que a propriedade não é homogênea (SANTI, 2007), considerando desta forma, as necessidades específicas de cada gleba e cada talhão (TSCHIEDEL & FERREIRA, 2002), tendo ainda a percepção, de que este conceito não se aplica somente aos adubos a taxa variada, mas para todos os fatores que definem a produtividade.

É preciso compreender que dificilmente estratégias isoladas refletem em estabilidade produtiva, necessitando de estratégias de manejo priorizadas pela AP e conjugadas com o uso de um “sistema inteligente” composto por “plantas inteligentes”, focando nas particularidades de cada planta, e nos benefícios que cada uma delas pode trazer. Dessa forma talhões que apresentam histórico de problemas, ou gargalos que fogem a simples adubação a taxa variada para serem resolvidas como antigas estradas, áreas revolvidas, compactadas, entre outras situações. A elaboração de estratégias multi-plantas nestas propriedades, se bem conduzido, surge como um grande potencial de ao menos amenizar os problemas existentes, possuindo grande capacidade de sanar situações que são de difícil controle com a ausência das plantas.

Neste contexto, desvendar um dos paradigmas mais complexos que se construiu até hoje – SPD – suas funções complementares, e transformar informação em produtividade é um grande desafio. Esse trabalho tem por objetivo discutir algumas questões relacionadas às contribuições pelo uso das plantas de cobertura do solo no sistema de plantio direto, associadas as ferramentas proporcionadas pela agricultura de precisão no manejo da variabilidade espacial de atributos de solo e planta.

12.2 Plantas Inteligentes

Uma das alternativas mais promissoras para enfrentar as situações já citadas, consiste na utilização de plantas de cobertura do solo durante o inverno (AITA et al., 2001), dos quais os benefícios, sejam cultivadas em sistema solteiro ou consorciado já foram pesquisados e tratados com propriedade por vários autores (CALEGARI et al., 1993; AMADO et al., 2001; MIELNICZUK et al., 2003; SÁ, 2004; FIORIN, 2007; FRANCHINI et al, 2008). Ainda, podemos destacar que os benefícios relatados pelos autores demanda de tempo, sendo notáveis geralmente a médio e longo prazo, pelo fato de que existem muitos fatores envolvidos nesse processo de melhoria do solo (química, física e principalmente biológica), que vão depender da qualidade do solo no momento da implantação das mesmas. Mesmo assim, quando o assunto é sustentabilidade da produção agrícola e planejamento de estratégias de manejo que garantam alta produtividade se faz necessária à adaptação e o aprimoramento de sistemas de rotação buscando a diversidade de espécies. Afinal, a rotação de culturas é um dos princípios básicos do SPD, que se tem revelado como uma prática essencial para o aumento da produção das culturas agrícolas (FRANCHINI et al., 2011).

Mas realmente, por que essa preocupação em pleno advento da AP e mais de quatro décadas de SPD? A resposta pode ser resumida em “Desafios Produtivos Futuros”. A verdade é que com o passar dos anos a agricultura tem sofrido com o “empilhamento” de tecnologias, onde a simplificação e a facilidade tecnológica nos processos, têm levado a certo esquecimento quanto aos cuidados em relação ao manejo sustentável do sistema de produção agrícola, trazendo como resultado, a estagnação da produção em muitas propriedades.

Práticas agrícolas que objetivam menor degradação do solo e maior sustentabilidade na agricultura têm recebido atenção crescente, tanto por parte dos pesquisadores como dos agricultores (BALOTA et al., 1998), e sempre que se busca uma informação almeja-se com uma receita. No entanto tanto o SPD quanto a AP são dois sistemas holísticos e complementares, logo o modo de gestão do solo depende também da nossa capacidade de entender a realidade, que na maioria das vezes está muito além da percepção visual, isso por que, há mais seres vivos em uma mão cheia de solo bem manejado do que todas as atividades humanas no planeta. Assim, são muitas vezes estes seres, pequenos em tamanho, mas gigantes em importância (VILAS BOAS & MOREIRA, 2012), juntamente com as plantas, que contribuem para o movimento de água e nutrientes no solo, constituindo-se em componentes importantes para a avaliação da organização e funcionamento do mesmo (STEFFEN et al., 2007; SILVA et al., 2013) e, acima de tudo, para a reconstrução de todo um sistema de complexa relação de interdependência que tem como resultado final uma agricultura sustentável, produtiva e com retorno econômico.

Dificilmente estratégias de manejo isoladas ou baseadas em adventos tecnológicos refletem sozinhas em estabilidade produtiva, todavia, são as

técnicas integradas que garantem e maximizam o potencial genético de produção das culturas. Nesse sentido, o sucesso das estratégias de manejo priorizadas pela AP somente terão resultados quando conjugadas com o uso de um “sistema inteligente” composto por “plantas inteligentes”. Calegari et al. (1993) já descreveram alguns dos benefícios da utilização de plantas de cobertura: promover a formação de cobertura vegetal, impedindo o impacto direto das gotas de chuva no solo e quebrando a energia cinética da chuva; manutenção da umidade do solo; redução das perdas de água por evaporação; aumento da infiltração de água no solo; redução de escorramento superficial; promoção de uma melhor estruturação do solo (melhor agregação, maior aeração); favorecimento para os cultivos posteriores; aporte a reciclagem de nutrientes no solo; melhoria no controle de plantas invasoras; aumento nos teores de matéria orgânica do solo; entre outras melhorias significativas nas características físicas, químicas e biológicas do solo.

Assim os produtores mais modernos atualmente na agricultura, não são aqueles que fazem uso somente de alta tecnologia, máquinas de grande porte e outros, mas sim aqueles que associam as ferramentas tecnológicas, adotando conjuntamente a elas inúmeras estratégias relacionadas à diversificação de culturas, proteção do solo, preservação ambiental, ou seja, que buscam cada vez mais sistemas sustentáveis de produção. Segundo Altmann (2010) na prática, são esses os produtores que terão capacidade, de “sobreviver” as adversidades climáticas e às crises econômicas e que, portanto, persistirão na agricultura.

É nesse contexto e baseado nesses benefícios, que um Plano de Manejo Inteligente (PMI) pode ser executado. Com a AP o produtor deve ir além de estratégias básicas de manejo como uma amostragem de solo inteligente, tendo a percepção de que o manejo pode conduzir, gradualmente, a uma melhoria da qualidade do solo agrícola até alcançar a excelência expressa por, entre outras propriedades, elevado potencial produtivo (AMADO, et al., 2007). Em sentido oposto, o manejo adotado pode conduzir a um processo de regressão da qualidade do solo até alcançar a degradação da qualidade, que se expressa por baixas produtividades (VEZZANI, 2001; AMADO, et al., 2007).

O SPD é uma das mais eficientes estratégias para melhoria da qualidade e do potencial produtivo do solo agrícola, no entanto, esta melhoria não se manifesta de forma homogênea em toda a área (AMADO et al., 2007), sendo possível encontrar subáreas com diferentes níveis de qualidade e, portanto, com diferentes potenciais produtivos, embora as práticas de manejo adotadas tenham sido aplicadas uniformemente (AMADO et al., 2005), sendo justamente este o ponto mais importante, mostrando que a variabilidade sempre existirá, devendo ser trabalhada de forma distinta e especializada. Dessa forma, a redução da variabilidade espacial seja ela de origem química, física ou biológica, somente vai ocorrer quando um PMI também for planejado e implementado de forma correta.

Um PMI deve ser sempre planejado considerando o histórico de problemas de cada área do talhão e as particularidades das espécies a serem utilizadas, locais estes que muitas vezes apresentam característica que não são passíveis de correção, como por exemplo: tipo de solo, manejo empregado no passado (histórico), antigas estradas, entre outros, mas que acabam causando variações na produtividade.

Neste caso, o mapeamento de produtividade, assim como as outras tecnologias proporcionadas pelas ferramentas da AP, destaca-se como alternativa moderna para gerenciar a variabilidade espacial e temporal das lavouras comerciais, orientando práticas de manejo localizadas (MOLIN, 1997; MILANI et al., 2006; AMADO et al., 2007), servindo como base no processo, orientando o manejo diferenciado dentro do mesmo talhão (Figura 1), partindo para uma nova fase dentro da área de manejo e conservação dos nossos solos, otimizando cada vez mais o uso das plantas de cobertura do solo.

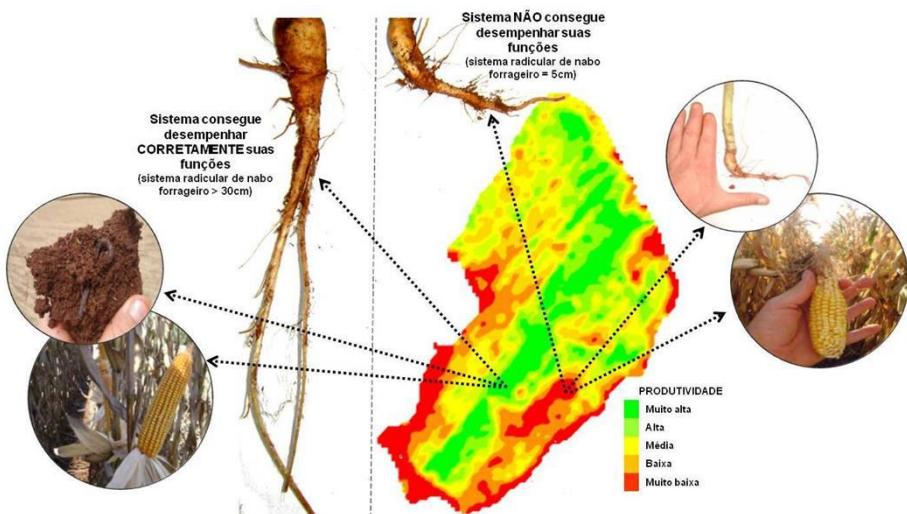


Figura 1 Esquema demonstrando através de um mapa de colheita locais com diferentes capacidades produtivas, as quais estão diretamente relacionadas à capacidade do solo em desempenhar suas funções, necessitando receber um manejo diferenciado. Boa Vista das Missões (RS).

12.3 Agricultura de Precisão e os desafios no manejo visando altas produtividades

Com o avanço do manejo georreferenciado do solo após mais de uma década de consolidação da AP no Rio Grande do Sul, surgiu à possibilidade de se realizarem práticas de intervenção/correção de acordo com as necessidades

de cada local no talhão, e isso tem sido realizado em grande escala, tanto por produtores quanto por empresas do ramo, na forma de prestação de serviço. No entanto, passado este período, outras dúvidas têm surgido.

É realidade de muitas lavouras, situações em que os talhões apresentam suas características químicas acima dos padrões considerados ótimos pelas instituições de pesquisa – os chamados solos de fertilidade construída – muito devido às contribuições da AP e, mesmo assim a variabilidade espacial da produtividade continua ocorrendo, muitas vezes em grande escala, como pode ser observado na Figura 2. Ou seja, existem locais “muito parecidos” estruturalmente e quimicamente, mas que são muito diferentes se tratando de produtividade.

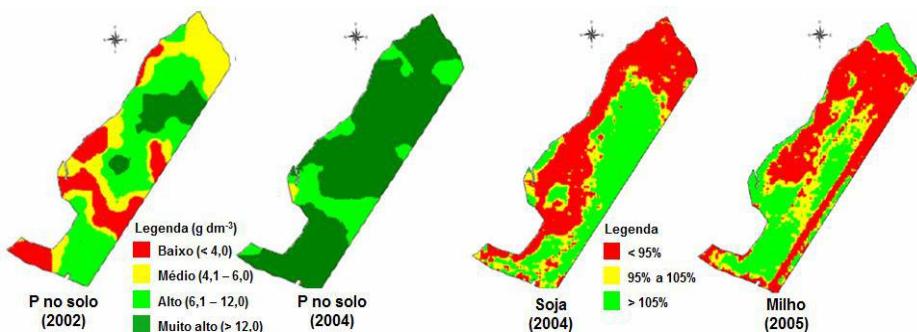


Figura 2 Distribuição espacial horizontal (0,00 – 0,10 m) dos teores de fósforo (P) no solo em dois anos de amostragem, e da produtividade das culturas da soja (safra 2004), do milho (safra 2005) em relação à média da lavoura. Palmeira das Missões (RS). Fonte: Santi, 2007.

É importante compreender, no entanto, que apesar deste resultado não ser o mais esperado, ele pode ocorrer sim, comprovando que as variações que ocorrem na produtividade das culturas, quase que em sua totalidade, não são explicados por fatores isolados, sendo necessária a coleta de um grande conjunto de dados de vários atributos, para se conhecer e entender adequadamente esta variabilidade (SANTI et al., 2012). Em termos práticos, uma aplicação de fertilizantes a taxa variável, pode não surtir o efeito esperado, corrigindo os problemas de ordem química, mas mantendo outros entraves da lavoura intactos – de ordem física e biológica – afetando diretamente a produtividade.

Segundo Meurer (2007) existe mais de cem fatores que exercem influência sobre a produtividade das culturas, existindo uma complexidade de interações entre os fatores, ocorrendo no sistema solo durante as safras. Esta particularidade o torna um sistema altamente dinâmico e que necessita ser atendido de forma eficiente para que desempenhe suas funções corretamente.

Como se não bastasse, as interações edafoclimáticas que ocorrem durante o ciclo da cultura, aumentam ainda mais a obscuridade do entendimento dos fatores que governam o desempenho das culturas (SANTI et al., 2012), tornando ainda mais importante a compreensão da lavoura em sua totalidade.

Desta forma, atender a todas as exigências do sistema solo-planta de modo eficiente, não é tarefa fácil (SALVADOR et al., 2012), mas que deve ser buscada. Assim, seguindo algumas premissas básicas que atendem aos quesitos de qualidade do sistema, tem-se a oportunidade de chegar cada vez mais próximo do sucesso na produção. Este quesito engloba o uso de Planos de Manejo Inteligentes (PMI's) dentro de talhões agrícolas, como uma forma eficiente de se tratar locais com diferentes potenciais produtivos.

12.4 Planos de Manejo Inteligentes: do planejamento aos resultados

Um PMI consiste na elaboração de um planejamento de intervenção especializado e localizado, levando em consideração as particularidades de cada área a ser corrigida, com estratégias pontuais e específicas, priorizando o posicionamento de plantas e exploração racional da rotação de culturas. A elaboração de PMI's permite um posicionamento mais correto de sistemas de plantas de cobertura de solo visando melhorias em atributos específicos de determinada área, em uso de espécies, cultivares e híbridos mais indicados para cada talhão de uma mesma lavoura, além de facilitar o manejo da densidade populacional por zonas de manejo.

Não restam dúvidas de que a utilização de sistemas de cobertura de solo, associados aos PMI's, com sistemas de rotação de culturas adaptados a realidade de cada produtor e, as condições impostas pelos locais dentro de um mesmo talhão, conduzirão a um sistema de produção economicamente viável e altamente sustentável ao longo das safras, como fruto do manejo correto do solo e das plantas.

Antes de entrarmos mais a fundo no assunto, é preciso esclarecer que o manejo com plantas de cobertura no sul do Brasil, quando se preconiza a qualidade do sistema, devem-se focar os esforços em se trabalhar durante o inverno, visto que, é a principal lacuna ou janela - pensando em logística produtiva - aberta pelo produtor para tal fim, principalmente o vazio outonal (Figura 3), aproveitando períodos que antes eram desconhecidos (SANTI et al., 2015), construindo em um SPD mais funcional e eficiente.

Para a elaboração do PMI, o mapa de produtividade é uma importante ferramenta e pode ser a estratégia inicial, preferencialmente com a cultura de interesse, identificando mais a fundo quais os motivos que levam a baixa produtividade em cada ponto da lavoura. Na maior parte das situações, o solo pode estar corrigido quimicamente, persistindo ainda a existência de áreas estáveis de baixa produtividade de ordem física, biológica, ou até mesmo

desconhecida, exigindo uma intervenção diferenciada da qual estamos acostumados.

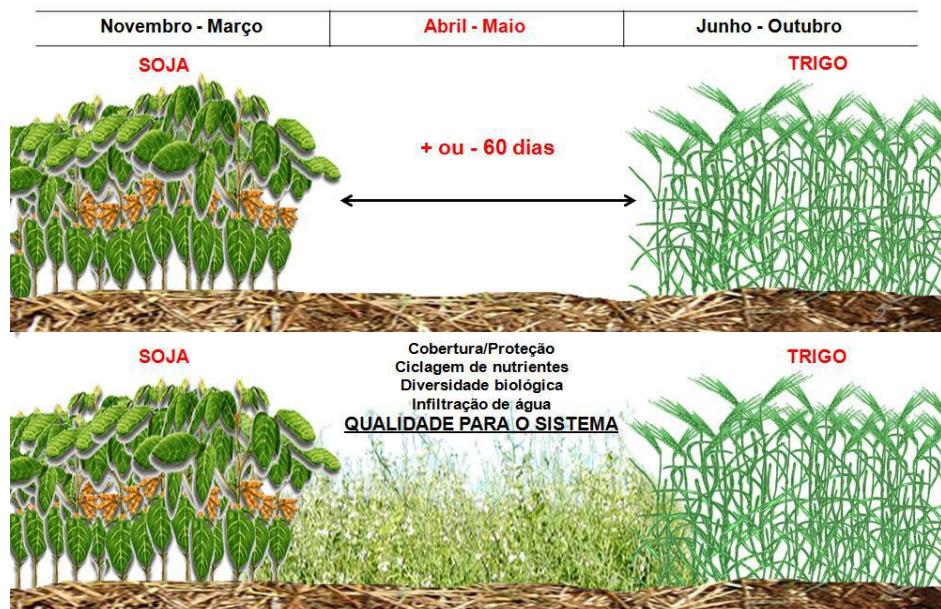


Figura 3 Demonstração de um Plano de Manejo Inteligente (PMI) utilizando plantas de cobertura durante o vazio outonal. Boa Vista das Missões (RS). Fonte: adaptado de Corassa, 2015; Santi et al., 2015.

Segundo Molin (2002), é dada uma interpretação mais sistêmica ao conjunto que compõe a AP, sendo acima de tudo, uma ferramenta de gestão ou um sistema de gerenciamento da produção que leva em consideração a variabilidade espacial da produtividade e dos fatores de produção (SWINTON & LOWENBERG-DEBOER, 1998). Porém, muitas vezes se dispõe de um universo de ferramentas e tecnologias, que estão cada vez mais comuns na agricultura, mas pequena é a percepção de que não é possível abrir mão de algo simples e básico para o agricultor ou técnico, o ir à lavoura, de talhão por talhão, e observar problemas que não aparecem em análises de solo, e consequentemente não se identifica como fator limitante, como por exemplo, a erosão laminar ou em sulcos ou a falta de biodiversidade edáfica.

Molin (2002) também afirma assim como muitos pesquisadores, que o mapa de produtividade é a informação mais completa para se visualizar a variabilidade espacial das lavouras, e mesmo com vários avanços da pesquisa e incorporação de tecnologias novas, como fotografias aéreas, sensores em tempo real, amostragem de solo em grade, condutividade elétrica do solo, entre

outras, que inegavelmente auxiliam na definição de zonas de manejo, nenhuma informação é mais real, que a própria resposta da cultura.

Ainda, este autor assegura ser necessário haver consistência temporal para a definição de manejo diferenciado, e que a análise individual de mapas é restritiva e pode não representar, com autoridade, tais zonas, podendo conduzir ao erro de manejo. Desta forma, o uso de vários mapas de produtividade para a definição e consolidação de zonas com distintos potenciais produtivos parece ser a maneira mais eficiente para caracterizar a variabilidade das lavouras (MOLIN, 2002; MILANI et al., 2006; SUSZEK et al., 2011; SANTI et al., 2013), favorecendo a interpretação dos reais problemas, facilitando a elaboração de um PMI mais adequado para a área em questão.

Conhecendo o histórico da lavoura, e a partir da definição dos pontos de baixa produtividade e do conhecimento das áreas com alta variabilidade produtiva da lavoura, e da posterior identificação dos fatores de produção que a desencadeiam, pode-se tomar uma melhor decisão no planejamento da intervenção a ser executada (Figura 4), sendo justamente nestas áreas, onde irão entrar as estratégias multi-plantas, visando resolver as adversidades da propriedade, aumentando e estabilizando a produtividade em todos os talhões.

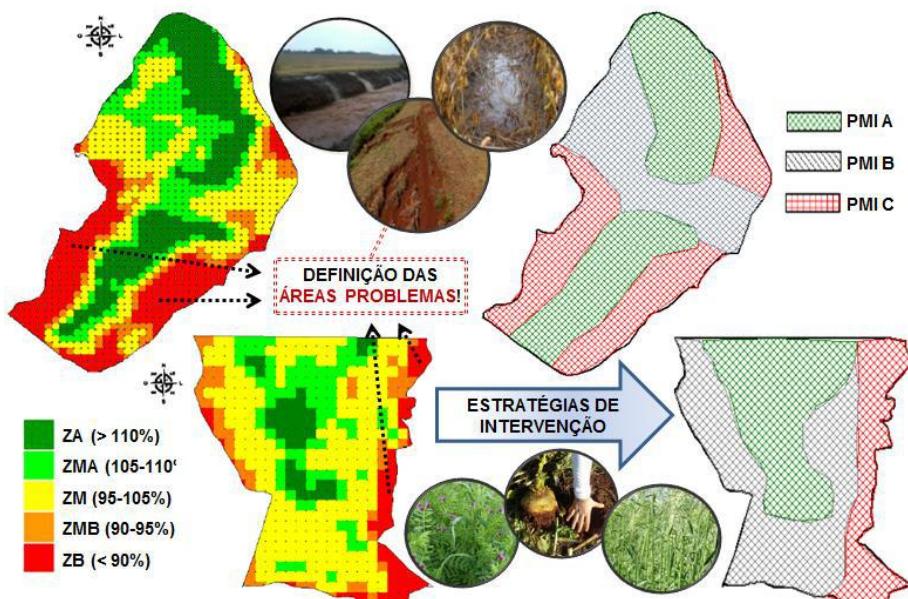


Figura 4 Exemplo de esquema demonstrando a definição e delimitação das áreas a serem executados Planos de Manejo Inteligentes (PMI's) através do uso de mapas de colheita sobrepostos (zonas de manejo estáveis) e identificação das áreas limitantes. Boa Vista das Missões (RS). Fonte: adaptado de Corassa, 2015.

Com a identificação dos pontos limitantes e as respectivas causas, e a definição dos limites da lavoura que apresenta o mesmo problema, pode-se partir para uma segunda etapa, a definição das estratégias e tomada de decisão. Estas zonas de manejo recém delimitadas, fornecem um subsídio importante ao posicionamento, assim como das estratégias de intervenção a serem executadas. A fim de reduzir os efeitos negativos causados pela variabilidade dos atributos do solo, definimos PMI's capazes de conter e remediar cada problema existente na área, considerando as particularidades de cada espécie a ser posicionada, como pode ser visto na figura 4, em trabalho realizado pelo Laboratório de Agricultura de Precisão do Sul do Brasil (LAPSul), sobre o posicionamento de cultivares de soja em zonas de produtividade diferentes, em Boa Vista das Missões (RS).

Nas zonas de alta produtividade ou de baixa variabilidade produtiva, podemos alocar culturas com retorno econômico – no inverno - mantendo o manejo que de certo modo está dando certo, tomando os devidos cuidados para que a qualidade do solo não seja perdida (PMI A, na Figura 4). Já nas zonas de baixa e média produtividade, precisamos identificar as causas dos baixos rendimentos e não manifestação do potencial produtivo. As respostas podem estar no histórico da lavoura, como antigas estradas, manejos precipitados, ou até mesmo compactação do solo ou de alta variabilidade produtiva (PMI B e PMI C). Podem-se denominar culturas sistema radicular agressivo – nabo forrageiro, tremoços – para áreas com compactação do solo, e antigas estradas. Áreas com histórico de erosões, principalmente as mais declivosas, ou com implantação recente do SPD, permite uma indicação de gramíneas – crescimento rápido, alta relação C/N e lenta degradação – que produzam uma grande quantidade de palhada, como aveias, azevém, e cevada, contribuindo para a retenção de nutrientes (água e fertilizantes) que estão indo embora da lavoura carreados pelos argilominerais, e devido à baixa infiltração de água no solo.

Áreas com alta variabilidade produtiva, tipos de solo diferentes, problemas de natureza desconhecida ou de difícil compreensão, necessitam de uma intervenção mais ampla, dando atenção especial aos consórcios de plantas de cobertura, devido ao amplo espectro de ação, visando elevar a qualidade do solo, a ciclagem de nutrientes, o aporte de N (leguminosas) – ervilhacas, tremoços, chícharo – além do casamento de sistemas radiculares que agreguem mais o solo – fasciculadas – com sistemas radiculares que descompactem o solo, havendo produção de biomassa razoável para melhorar o aproveitamento da água, visando diminuir a variabilidade existente na área, concomitantemente com o aumento da qualidade do solo.

Ainda, em função da resposta diferenciada das culturas econômicas de verão (soja, milho, feijão) às zonas de manejo, pode-se posicionar cultivares e/ou híbridos mais adequados e aptos a enfrentar os problemas específicos de cada área (semeadura “multi-cultivares” e “multi-hybrid”), assim como explorar o melhor arranjo espacial para cada planta nas respectivas zonas, podendo

contribuir para a maximização da eficiência produtiva e econômica (CORASSA, 2015).

Em trabalho conduzido em propriedade rural parceira do LAPSul, no município de Boa Vista das Missões (RS), para elaboração do PMI utilizou-se informações da variabilidade espacial de produtividade da cultura do milho e informações adicionais como a experiência do produtor e informações sobre a resistência do solo à penetração, além de avaliações visuais, constatando-se a presença de erosões em algumas áreas. A partir disso se optou por implementar na área de 94 ha (Figura 5), na área de maior produtividade a cultura do trigo (PMI A), na área com presença de erosões laminares a cultura da aveia preta (PMI B), e na área com menor produtividade e maior variabilidade espacial, a cultura do nabo forrageiro (PMI C). Após essa implementação a área foi conduzida com a cultura da soja, e posteriormente, novamente com a cultura do trigo no inverno seguinte. Após um ano da execução do PMI, foram coletados novamente dados georreferenciados de produtividade (trigo) para avaliação das melhorias na área. Os dados seguiram os pressupostos geoestatísticos e modelos temáticos usuais na AP.

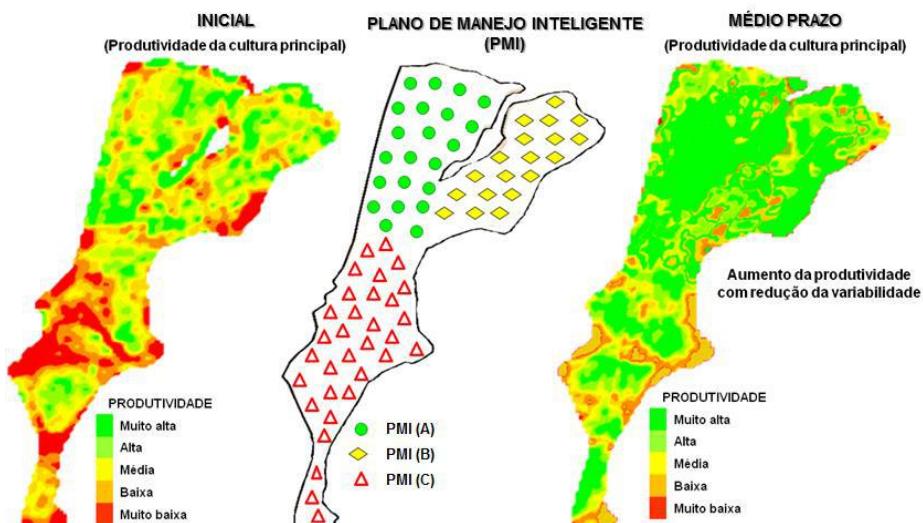


Figura 5 Exemplo de um Plano de Manejo Inteligente (PMI) utilizando as ferramentas da Agricultura de Precisão (AP) como base do processo. Boa Vista das Missões (RS).

Posteriormente, foram constatados diminuição da variabilidade produtiva em toda a área, evidenciando que os problemas foram minimizados, trazendo resultados já em médio prazo, mostrando que com a AP, o produtor deve ir além de estratégias básicas de manejo, como uma simples amostragem de solo

inteligente. A redução da variabilidade espacial, de origem química, física ou biológica, ocorrerá quando um PMI for planejado e implementado de forma correta, levando em consideração as particularidades de cada talhão.

12.5 Benefícios a qualidade do solo e a produtividade

A biodiversidade funcional – uso de plantas distintas, tal como manejo multi-plantas – conduz a lavoura para diferentes estados qualitativos. Um dos indicadores principais é a diversidade biológica, na qual se destacam os organismos da fauna edáfica e que habitam as camadas superiores do solo. Estes indivíduos apresentam importante papel para a qualidade do solo, realizando a fragmentação do material orgânico e contribuindo intensamente para a ciclagem de nutrientes no solo (SILVA et al., 2006), e essencialmente importante para que o solo desempenhe suas funções corretamente.

Desta forma, quanto mais complexo for o sistema maior também será a diversidade biológica e o nível qualitativo do solo. Silva et al. (2013), estudando sistemas de cobertura do solo já constataram em seus estudos que os organismos da fauna edáfica apresentaram comportamento diferenciado, em função das espécies utilizadas, sendo o número total de indivíduos favorecido pelo consórcios entre culturas de cobertura. Assim, é possível concluir que sistemas que envolvam monoculturas, ao fornecerem um único substrato como forma de alimento para estes organismos, ocasionem perdas na diversidade biológica do solo (BARETTA et al. 2003), em comparação a consórcios ou sistemas de rotação. Este fato evidencia que não somente a quantidade de biomassa que está sendo produzida deve ser utilizada como indicador de qualidade, mas também a diversidade desta.

Em um estudo que vem sendo gerido pelo LAPSul e conduzido pelo quarto ano consecutivo no município de Frederico Westphalen (RS), envolvendo diferentes sistemas de cobertura de inverno, os resultados após dois e três anos de execução dos PMI's também já indicam para uma dinâmica diferenciada da diversidade biológica do solo, obtida através do Índice de diversidade de Shannon (SHANNON & WEAVER, 1949), em função do uso de algumas culturas de cobertura (Figura 6). Pode-se perceber que a diversidade biológica é diretamente afetada pela cobertura utilizada, principalmente entre as plantas ou consórcios que produzem uma quantidade mínima razoável de biomassa, além da diversidade desta, e que a ausência de palhada (pousio invernal) causa danos irreversíveis ao sistema solo. Também pode-se notar uma melhora edáfica ano após ano da utilização dos PMI's testados. É importante frisar que nenhum sistema é eficientemente produtivo e economicamente viável levando em conta unicamente a qualidade química (não menos importante), e que dadas às particularidades das espécies, o aporte de resíduos de plantas de cobertura também favorece este quesito.

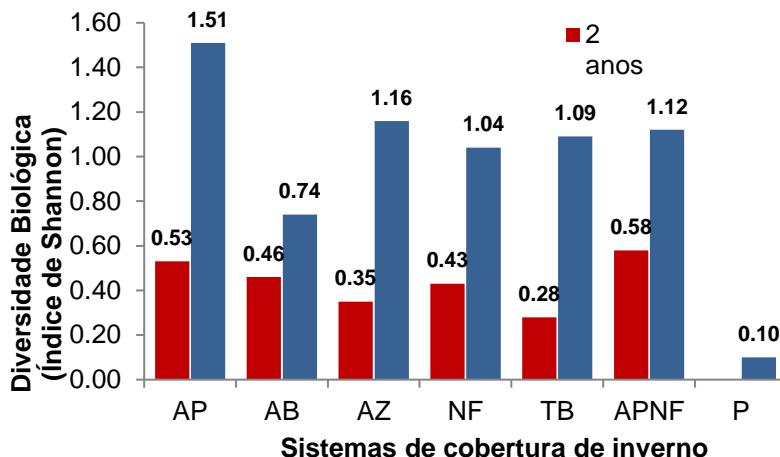


Figura 6 Índice de diversidade de Shannon obtido após a coleta da fauna edáfica em diferentes sistemas de cobertura do solo de inverno. Frederico Westphalen (RS). Fonte: Adaptado de Santi et al., 2014; Silva, 2015. *Onde: AP = aveia preta; AB = aveia branca; AZ = azevém; NF = nabo forrageiro; TB = tremoço branco; APNF = consórcio de aveia preta + nabo forrageiro; P = pousio.

A cobertura do solo, geralmente, forma uma camada espessa de folhas com vários estratos de matéria fresca e em decomposição, capaz de abrigar uma população diversificada da fauna edáfica. De modo geral, a fauna do solo contribui na decomposição desses resíduos orgânicos, e na estruturação do solo, sendo sua determinação de fundamental importância para avaliar as interações biológicas no sistema solo/planta (GIRACCA et al., 2012). Em trabalho realizado em Boa Vista das Missões, RS pelo LAPSul (Figura 7), concluiu-se que a fauna edáfica pode ser utilizada como parâmetro alternativo, na busca do entendimento da variação da produtividade das culturas (CORASSA, 2012).

Apesar dos avanços ocorridos no manejo a partir da adoção da AP, muitas áreas já apresentem os atributos químicos do solo dentro dos padrões indicados pelas comissões de pesquisa, a variação da produtividade das culturas continua ocorrendo, reforçando que novos fatores precisam ser identificados (VIANA, 2005). Isso mostra que o solo deve ser entendido como um sistema dinâmico, cuja funcionalidade emerge de interações entre componentes físicos, químicos e também biológicos (REICHERT et al., 2003; CORASSA, 2012).

A biota do solo é afetada pelos diferentes manejos do solo, dependendo do tipo de cultura implantada, revolvidos, tráfegos de máquinas e implementos, adubações, entre outras várias práticas agronômicas (OLIVEIRA et al., 2006; ALMEIDA, 2012; ALMEIDA et al., 2013), resultando diretamente sobre a sua biodiversidade (CAPELLE et al., 2012). Dessa forma, isto permite

utilizar alguns grupos que funcionam melhor se avaliados especificamente, indicando situações e condições (BARETTA et al., 2011), como as minhocas, consideradas por muitos pesquisadores como os melhores bioindicadores de qualidade do solo (LIMA & BRUSSAARD, 2010; STEFFEN et al., 2013), e as formigas, sensíveis indicadoras de áreas degradadas (ANDERSEN et al., 2002; BARETTA, 2007), como pode ser visto na Figura 8, em trabalho realizado pelo LAPSul, em Frederico Westphalen (RS).

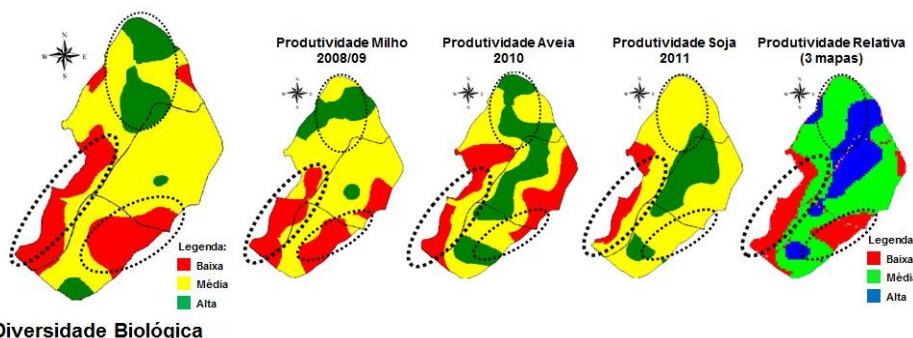
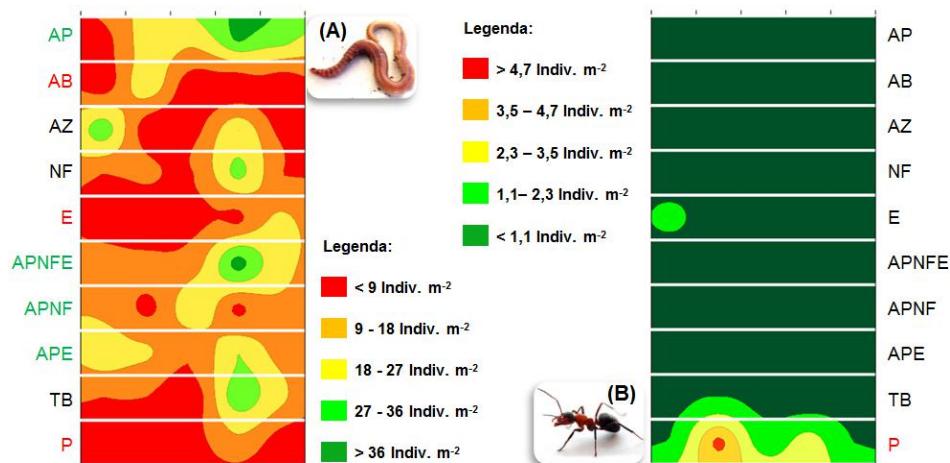


Figura 7 Diversidade biológica do solo e produtividade relativa das culturas. Boa Vista das Missões (RS). Fonte: adaptado de Corassa, 2012.



*Onde: AP = aveia preta; AB = aveia branca; AZ = azevém; NF = nabo forrageiro; E = ervilhaca; APNFE = aveia preta + nabo forrageiro + ervilhaca; APNF = aveia preta + nabo forrageiro; APE = aveia preta + ervilhaca; TB = tremoço branco; P = pousio.

Figura 8 Variabilidade espacial da ocorrência de minhocas (A) e formigas (B) em diferentes sistemas de cobertura do solo de inverno. Frederico Westphalen (RS). Fonte: Adaptado de Dal Bello et al. 2015; Silva, 2015; Zachi et al. 2015.

Pode-se notar a nítida eficiência dos consórcios testados, juntamente com a aveia preta, relacionado à ocorrência de minhocas na área experimental, devido à diversidade das biomassas produzidas, e também, da quantidade produzida ($r = 0,38$), visto que não coincidentemente os quatro tratamentos foram os de maior produção, atingindo $8,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ com o consórcio APE. Em contraposto, os três tratamentos com menor produção de biomassa, obtiveram as menores ocorrências deste bioindicador (Figura 8A). Quanto à ocorrência dos indivíduos da ordem Hymenoptera (formigas), a situação foi semelhante (Figura 8B), porém inverso, apresentando moderada correlação ($r = -0,40$) com a produção de biomassa, funcionando perfeitamente como indicador de estresse dos ambientes testados, e indicando que a utilização do pousio invernal deve sim ser extinta, tendo produzido apenas $1,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ de palhada.

Com a utilização de sistemas de rotação, parte das necessidades nutricionais requeridas pelas culturas subsequentes também podem ser supridas pelos nutrientes contidos na biomassa em decomposição. Além disso, a melhoria dos atributos químicos do solo também é resultado do processo de ciclagem realizado por muitas espécies (CAVALCANTE et al., 2012), neste caso, as plantas absorvem os nutrientes em camadas mais profundas do solo, onde as culturas anuais de verão têm maior dificuldade ao acesso, e os libera posteriormente, através da decomposição dos seus resíduos, nas camadas superficiais (DUDA et al., 2003). Espécies leguminosas têm grande importância como fornecedoras de N, enquanto os resíduos das gramíneas promovem uma proteção mais duradoura e eficiente ao solo (TEIXEIRA et al., 2010). Neste sentido, a opção pelo consórcio entre espécies é uma estratégia para maximização dos benefícios ao sistema, trazendo aporte de nutrientes, proteção do solo e promovendo ainda a diversidade biológica como visto anteriormente. Assim, o objetivo deste trabalho também é alertar a necessidade de uma AP funcional, agronomicamente correta e baseada em um número amplo de premissas.

Outra preocupação tida por agricultores e prestadores de serviço em AP é como resolver os problemas relacionados à compactação em solos agrícolas, que tem sido constatada na camada superficial no SPD (ALVES & SUZUKI, 2004; REINERT et al., 2008), sujeitos à mecanização intensiva (HAMZA & ANDERSON, 2005) se manifestando geralmente de forma regionalizada, com ocorrência mais severas em zonas de maior frequência de trânsito de máquinas e equipamentos (BEUTLER et al., 2001; AMADO et al., 2007), sendo geralmente nas extremidades da lavoura.

As plantas, em resposta à compactação, apresentam alterações na profundidade, ramificação e distribuição das raízes (ROSOLEM et al., 2002), comprometendo a eficiência do uso de nutrientes e de água, e limitando a produtividade das culturas (ALAKUKKU & ELOMEN, 1984; GIRARDELLO et al., 2014), ficando a seguinte indagação, “escarifar ou não?”. Mais que responder essa dúvida é ir além e buscar a simplificação do processo (SANTI et al., 2014).

Os efeitos mais pronunciados do problema da compactação do solo são observados quando o solo é cultivado sob sucessão de culturas, podendo ocorrer melhorias na qualidade química (BAYER & MIELNICZUK, 1997) e físicas do solo (ALBUQUERQUE et al., 1995; TORMENA et al., 2004; ARGENTON et al., 2005) quando cultivado sob rotação de culturas e com uso de plantas de cobertura do solo (REINERT et al., 2008), mas, que a curto prazo podem não apresentar benefícios (GENRO JUNIOR et al., 2004), evidenciando que as estratégias devem ser de médio a longo prazo, não sendo resolvidas de uma hora para outra.

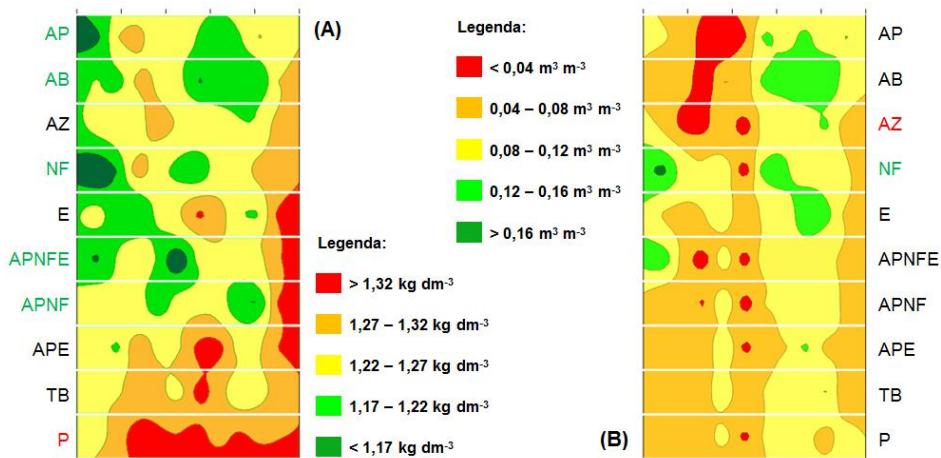
Dentre os atributos físicos mais utilizados para se tomar uma decisão sobre a escarificação, estão a densidade do solo (Ds) e a resistência do solo a penetração (RP), os quais representam de forma adequada a compactação do solo nas áreas produtivas.

Em trabalho conduzido pelo LAPSul, notou-se que a presença de culturas como o nabo forrageiro, em cultivo solteiro ou consorciado, juntamente com as culturas de aveia preta ou aveia branca, contribuem significativamente para a redução da Ds após três anos de rotação, enquanto a não utilização de alguma cultura específica, deixando em vegetação espontânea ou pousio invernal, tende a degradar e comprometer o sistema, causando danos que levarão anos para serem reparados (Figura 9A). De forma semelhante, na camada de maior interesse agrícola (até 15 cm), constatou-se aumento da macroporosidade do solo quando utilizado o nabo forrageiro no inverno (Figura 9B), que tem papel fundamental na movimentação de gases no solo, também chamados de porosidade de aeração (VALICHESKI et al., 2012), considerando valores abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ podendo representar deficiência de aeração (DA ROS et al., 1997).

Desta forma, os resultados mostram que o nabo forrageiro principalmente, tem potencial de servir como alternativa ao método de descompactação mecânica do solo, por possuir raiz pivotante capaz de crescer em camadas compactadas, formar bioporos e melhorar os atributos físicos do solo (CUBILLA et al., 2002). Porém, Kubota et al. (2005) e Nicoloso et al. (2008), ressaltam que o nabo forrageiro pode não surtir efeitos imediatos, sendo necessário seu cultivo ao longo dos anos.

A Figura 10A, como parte integrante do estudo que vem sendo conduzido pelo LAPSul, demonstra que em sistemas onde o nabo forrageiro, o tremoço branco e consórcio de aveia preta + nabo forrageiro estão presentes, são observados valores inferiores de RP na camada superficial (0,00 – 0,05 m), em comparação a outros sistemas. Estes resultados também foram observados por Bertollo et al. (2013), onde a RP se mostrou inferior na profundidade de 0,15 m em sistemas que receberam nabo forrageiro (em sistema solteiro ou consorciado) e tremoço branco (Figura 10B). Em ambos os estudos citados até agora (Figura 9 e 10), pode-se perceber que as coberturas de azevém, vegetação espontânea (pousio invernal), além de aveia branca em alguns casos,

tendem a não ser benéfico às características físicas do solo, devido principalmente ao fato de produzirem pouca biomassa, devendo evitar não se usar plantas de cobertura no inverno, além de procurar consorciar estas outras duas plantas citadas, para que os mesmos efeitos não se repitam a campo, trazendo prejuízos ao agricultor.



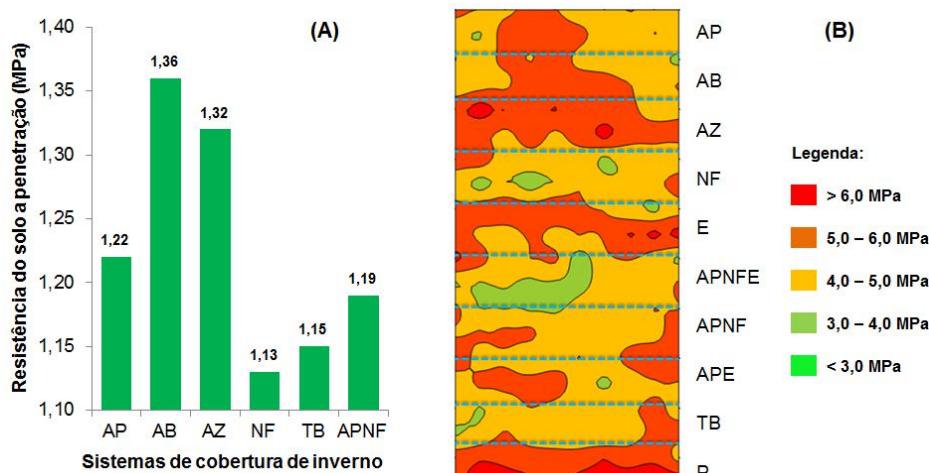
*Onde: AP = aveia preta; AB = aveia branca; AZ = azevém; NF = nabo forrageiro; E = ervilhaca; APNFE = aveia preta + nabo forrageiro + ervilhaca; APNF = aveia preta + nabo forrageiro; APE = aveia preta + ervilhaca; TB = tremoço branco; P = pousio. Fonte: Adaptado de Silva, 2015; Silva et al. 2015.

Figura 9 Variabilidade espacial da densidade do solo (A) e da macroporosidade do solo (B), de 0,00-0,15 m, em diferentes sistemas de plantas de cobertura de inverno. Frederico Westphalen (RS).

Ao se revisar inúmeras publicações e retomar discussões já frisadas há certo tempo por grandes nomes da conservação do solo (CALEGARI et al., 1993; GASSEN & GASSEN, 1996; AMADO et al., 2001; MIELNICZUK et al., 2003; SÁ, 2004; TREIN et al., 2005), e que infelizmente parecem passar despercebidas, chega-se a conclusão de que problemas dessa natureza resolvem-se com o planejamento das operações agrícolas (TREIN et al., 2005) e com a implementação de planos de rotação e manejo que congreguem diversidade vegetal, tanto no sistema aéreo como no sistema radicular.

Deste modo, não é aconselhável usar escarificadores em profundidade ou em zona variável visando romper camadas compactadas em lavouras, sem antes organizar um bom plano de rotação de culturas, com plantas capazes de contornar ou minimizar estes problemas através de seu sistema radicular, visto que estes são uma opção mais econômica e sustentável para o produtor e ao solo. Além de resultados imediatistas em relação ao acréscimo de produtividade

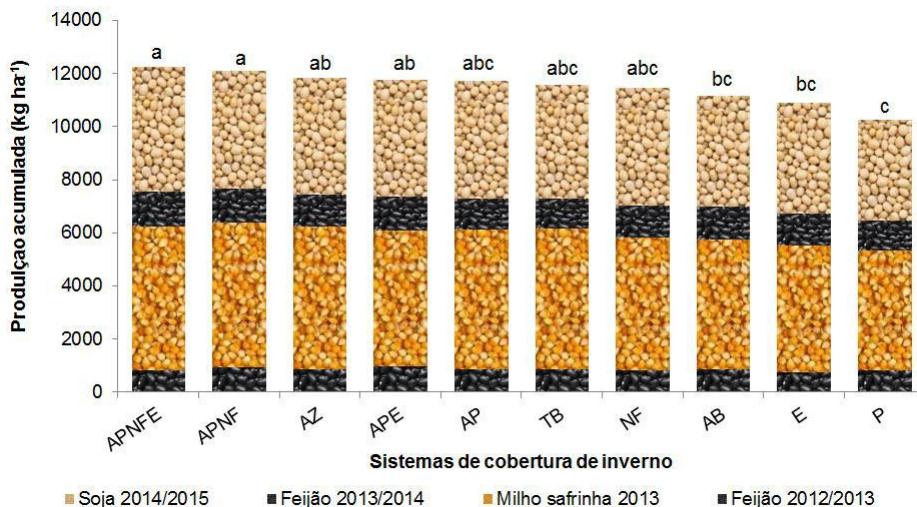
atribuído as práticas de escarificação, os problemas poderão retornar de forma rápida, principalmente em zonas com diferentes capacidades de ciclar carbono ou até mesmo agravarem-se, uma vez que o que foi “construído” com os anos de SPD pode ser destruído por essa simples prática. Neste sentido, o uso de plantas de coberturas associado ao uso de PMIs em lavouras comerciais, por proporcionarem melhoria nos atributos químicos, físicos, e biológicos do solo, não leva a outro caminho se não o da alta eficiência produtiva (CALEGARI et al., 1993).



*Onde: AP = aveia preta; AB = aveia branca; AZ = azevém; NF = nabo forrageiro; TB = tremoço branco; APNF = aveia preta + nabo forrageiro; E = ervilhaca; APNFE = aveia preta + nabo forrageiro + ervilhaca; APE = aveia preta + ervilhaca; P = pousio. Fonte (B): adaptado de Bertollo et al. 2013.

Figura 10 Valores de resistência do solo a penetração (RP) na camada superficial do solo (0,00 – 0,05 m), após dois ciclos dos diferentes sistemas de plantas de cobertura de inverno (A). Variabilidade espacial da resistência à penetração do solo, na profundidade de 0,15 m, em diferentes sistemas de plantas de cobertura de inverno (B). Frederico Westphalen (RS).

Resultados do rendimento de grãos acumulado ao longo de três anos (Figura 11), após um ano dos sistemas de plantas de cobertura de inverno (feijão 2012/13 e milho safrinha 2013), após dois anos (feijão 2013/14), e após três anos (soja 2014/15), evidenciam que o uso racional e inteligente da cobertura do solo pode trazer benefícios econômicos significativos já a curto e médio prazo, principalmente quando posto em prática PMI's com a presença de consórcios entre plantas que produzem biomassa, plantas fixadoras de N e plantas descompactadoras com potencial grande de ciclagem de nutrientes, resultando em até 2.000 kg ha⁻¹ a menos, quanto comparado a não utilização de plantas de cobertura do solo (pousio invernal).



*Onde: APNFE = aveia preta + nabo forrageiro + ervilhaca; APNF = aveia preta + nabo forrageiro; AZ = azevém; APE = aveia preta + ervilhaca; AP = aveia preta; TB = tremoço branco; NF = nabo forrageiro; AB = aveia branca; E = ervilhaca; P = pousio.

Figura 11 Produção acumulada de grãos em diferentes sistemas de cobertura do solo de inverno na safra de Feijão 2012/13 + Milho safrinha 2013 + Feijão 2013/14 + Soja 2014/15. Fonte: adaptado de Castro, 2015; Bisognin, 2013; e Silva, 2015. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Nota-se que as culturas anteriormente citadas, em relação a contribuição pequena ou degradação da física e biologia do solo (possivelmente também na química), foram as que apresentaram os menores rendimentos acumulados (com exceção de azevém), mostrando que a escolha deve ser feita considerando vários aspectos, produtivos, ambientais e econômicos.

Analizando separadamente as produtividades, também não restam dúvidas dos benefícios (Figura 11), como no experimento da cultura do milho safrinha, onde os resultados evidenciam que a produtividade foi superior em sistemas que receberam plantas de cobertura de inverno – antecedendo a cultura do feijão – em relação à vegetação espontânea ou pousio invernal, comprovando o efeito protetor da palhada sobre o solo, e que ele não possui efeito somente em curto prazo. Neste ano agrícola (safra de 2013), o consórcio aveia preta + nabo forrageiro foi superior aos demais, produzindo cerca de 900 kg ha⁻¹ de milho a mais que o tratamento pousio. Ressalta-se que neste experimento a cultura do milho safrinha foi desfavorecida por período com elevado déficit hídrico durante o início do seu desenvolvimento e, posterior chuva de granizo no enchimento de grãos, o que ocasionou, de modo geral, redução na produtividade. De forma semelhante, o consórcio aveia preta + nabo forrageiro + ervilhaca, produziu aproximadamente 900 kg ha⁻¹ de soja a mais que

o pousio, sendo uma diferença muito grande em termos econômicos, representando em torno de R\$ 1100,00 a mais no bolso do produtor rural que adotar esta prática.

Baseado nos ótimos resultados obtidos com os “coquetéis” de plantas de cobertura do solo, destacados os efeitos conjuntos dessas plantas, sobre os atributos do solo, sejam de ordem biológica, química ou física, além de resultados incontestáveis diretamente sobre a produtividade das culturas de verão e de interesse econômico, este trabalho sugere mais estudos sobre estes consórcios, de modo a investigar as causas e os mecanismos para se chegar a estes resultados com mais exatidão, dando suporte a pesquisa ao afirmar o funcionamento desse tipo de manejo adotado.

Resultados desta magnitude, comprovam o que já foi salientado por Franchini et al. (2011), de que o uso de sistemas de rotação de culturas, atua como prática essencial para a produção agrícola, mesmo quando as condições climáticas são desfavoráveis. Isto se deve ao fato de que a presença de palha na superfície é capaz de promover a manutenção da umidade do solo e de reduzir as perdas de água por evaporação, em comparação a solos sem cobertura (CALEGARI et al., 1993). Nesse contexto, as plantas de cobertura do solo se tornam alternativa para a sustentabilidade da agricultura na região, por se tratar de uma técnica que, por intermédio da cobertura vegetal do solo, proporciona melhorias em sua constituição química, física e biológica (CAVALCANTE et al., 2012).

12.6 Produção de biomassa: as contribuições da AP

Outra ferramenta importante de ser quantificada pela AP e associada aos PMI's é o conhecimento da produção desempenhada pelos sistemas de cobertura de inverno utilizados, pois é neste período em que há uma variabilidade maior em todos os aspectos produtivos, com consequências em maior grau na variabilidade dos atributos edáficos. Apesar de que isoladamente este não deve ser um critério decisório, é incontestável que o nível qualitativo imposto por muitos locais dentro do mesmo talhão levem a produções de biomassa superiores, chegando a patamares de duas a três vezes maiores em relação à média das lavouras e indicando que estes locais necessitam ser investigados e manejados de forma diferenciada. Isso demonstra que a qualidade do SPD, o sequestro de Carbono, a reciclagem de nutrientes e outras características intrínsecas impostas por esse sistema também são variáveis, e podem refletir na produtividade das culturas subsequentes.

Cavalcante et al. (2012) afirmam que para avaliar a eficiência de uma planta de cobertura do solo, deve-se observar se ela produz grande quantidade de biomassa, e se recicla elevada quantidade de nutrientes. A maior biomassa promove aumento na cobertura do solo e, em contrapartida, também maior teor de matéria orgânica, proporcionando benefícios como maior infiltração e

armazenamento de água no solo, drenagem, aeração e interferência direta na resistência mecânica do solo (SUZUKI & ALVES, 2006).

Assim, além de se pensar em um manejo eficiente, é preciso conhecer o grau de variação a que será submetido. Neste sentido, a utilização de ferramentas da AP permite a quantificação destas produções, para que possam ser utilizadas como uma fonte adicional de informações para a definição de estratégias de manejo a longo prazo.

Em estudo conduzido pelo LAPSul em 2011, no município de Boa Vista das Missões (RS), em duas culturas de grande importância para o SPD e para os sistemas de rotação de culturas, a aveia preta e a aveia branca, foram possíveis verificar que as variações na produção de matéria seca ha^{-1} foram de 4,0 a 9,0 $Mg ha^{-1}$ para a aveia preta e de 3,0 a 10,0 $Mg ha^{-1}$ para a aveia branca, com a média para as duas culturas ficando em torno de 5,0 e 6,0 $Mg ha^{-1}$ (Figura 12).

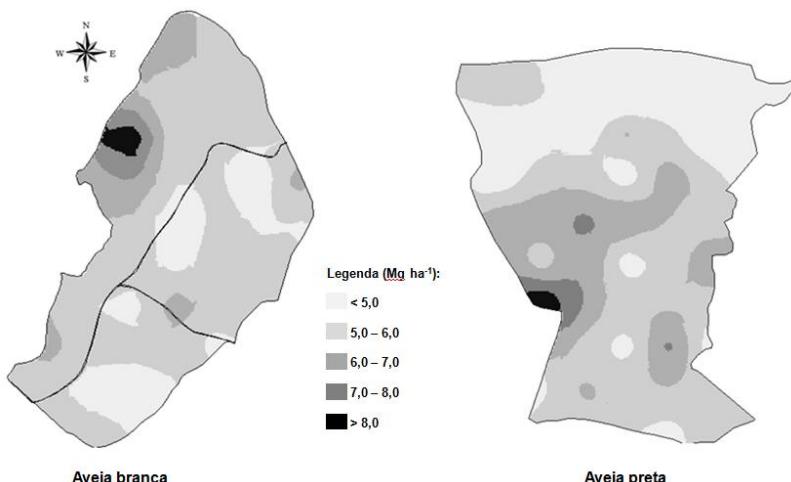


Figura 12 Variabilidade espacial da produção de massa seca de aveia branca e aveia preta. Boa Vista das Missões (RS).

Desta maneira, mapas de produtividade – grãos e biomassa – podem ser utilizados na investigação das causas da variabilidade, e do manejo do solo (MOLIN, 1997; AMADO et al., 2007; MANTOVANI & MAGDALENA, 2014), proporcionando o conhecimento mais detalhado da área, materializando o potencial produtivo das culturas (SANTI et al., 2014), servindo como base essencial para o posicionamento correto das plantas de cobertura na confecção dos PMI's, sendo indiscutível sua importância na execução de sistemas de rotação de culturas.

12.7 Considerações finais e perspectivas futuras

Não restam dúvidas de que a utilização de sistemas de cobertura de solo de solo, associados aos Planos de Manejo Inteligentes, com sistemas de rotação de culturas adaptados a realidade de cada produtor e as condições impostas pelos diferentes locais dentro de um mesmo talhão, conduzirá a um sistema de produção economicamente viável e altamente sustentável ao longo prazo, como fruto do manejo correto do solo e das plantas.

Algo que é preciso chamar atenção, é justamente o manejo invernal, período no qual deve-se ficar mais atento, devido a ser a principal janela - considerando a logística produtiva - aberta que o produtor rural possui para tal fim, e a alta variabilidade causada por manejos errôneos neste período, em relação ao cultivo de verão.

Por serem capazes de promover a melhoria da qualidade física, química e biológica do solo, e na diminuição significativa da variabilidade da lavoura, os Planos de Manejo Inteligentes tendem a alavancar a produtividade das culturas ao longo dos anos, principalmente em áreas com histórico de problemas, como erosão, áreas com compactação, zonas de baixa produtividade estáveis, ou até mesmo outros problemas específicos. Deste modo, esta nova forma de se gerir as propriedades exigirá cada vez mais uma atividade agrícola baseada no planejamento e na integração das técnicas sustentáveis de produção. Dentre estas técnicas a AP é uma das grandes aliadas nesse processo, contanto que seja utilizada de forma correta e eficiente, que se torne funcional, e que não se limite ao estudo de fatores isolados, lembrando que “não há ferramentas ou conjunto de tecnologias isoladas que corrijam erros de manejo”, ou seja, a AP chegou para ficar, mas antes de qualquer coisa deve-se fazer o dever de casa, o manejo correto do solo.

Por proporcionar o conhecimento detalhado dos fatores de produção e por materializar o potencial produtivo das culturas através dos mapas de colheita, a AP permite a realização de manejos localizados, mesmo dentro de pequenos talhões. Além disso, os mapas de colheita podem e devem servir como base para o planejamento e implementação dos Planos de Manejo Inteligentes, auxiliando de forma inquestionável na execução de sistemas de rotação de culturas.

Esse é um momento de reflexão e planejamento de sistemas de rotação inteligentes, tendo a percepção de que as áreas da promissora AP e do manejo e conservação do solo podem se conciliar e avançar a um novo patamar de pesquisa, sendo necessário ir além da química do solo, integrando todas as ferramentas, para aumentar o entendimento das inter-relações existentes no sistema Atmosfera-Solo-Planta, aumentando consideravelmente a chance de sucesso na propriedade rural.

Para finalizar, por ser uma área nova e promissora, é natural que ainda existam gargalos a serem resolvidos. Focar em entender melhor as causas das

baixas produtividades, principalmente relacionadas ao solo, evitando atributos e fatores isolados, que tendem a não explicar corretamente essas variações. Outro fator não menos importante, é a existência de microclimas dentro das mesmas lavouras, e devemos aproveitar as ferramentas de georreferenciamento que a AP propicia, para poder investigar mais a fundo o assunto, e ver o quanto dessa variabilidade produtiva é causada por este. Baseado nos ótimos resultados encontrados com uso de consorciamento de plantas de cobertura do solo, sobre a qualidade do solo e a produtividade das culturas de verão, este trabalho sugere que sejam feitos novos trabalhos sobre o assunto, a fim de compreender melhor os mecanismos dos benefícios causados por esta prática.

Por último, frisa-se que novos estudos, em novas regiões, com condições edafoclimáticas e culturais diferentes devem ser realizados e continuados, a fim de aprimorar este tipo de intervenção, permitindo um avanço e estreitamento entre as técnicas de manejo de solo e culturas e as ferramentas da AP.

Agradecimentos

Agradecimento especial a Fazenda Vila Morena na pessoa de seu proprietário Eliseu José Schaedler e também de Eduardo Dauve pela disponibilidade de pesquisa em condições de lavoura. A CAPES pela bolsa de mestrado do Engº Agrº Diego Armando Amaro da Silva e ao Instituto Federal Farroupilha, Campus de Frederico Westphalen pela cooperação científica.

Literatura citada

AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 157-197. 2001.

ALAKUKKU, L.; ELOMEN, P. Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. **Soil and Tillage Research**, v. 36, p. 141-152, 1994.

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDEL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: Efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 115-119. 1995.

ALMEIDA, D. O. **Fauna epiedáfica e atributos microbiológicos do solo sob sistemas de manejo no subtrópico brasileiro**. 2012, 109 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

ALMEIDA, N. S.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S.; PAULUS, E.; SILVA, D. A. A. Efeito do preparo do solo na fauna epiedáfica em cultivo de Nogueirapê. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, p. 1-5, 2013.

ALTMANN, N. Princípios do sistema plantio direto na palha. In: ALTMANN, N. **Plantio direto no cerrado: 25 anos acreditando no sistema**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2010. p. 23-72.

ALVES, M.C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, p.27-34, 2004.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 189-197. 2001.

AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R.; LANZANOVA, M.; SANTI, A. L.; LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, n.89, p.34-42, 2005.

AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1101-1110, 2007.

ANDERSEN, T. H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 98, p. 285-293, 2003.

ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 425-435, 2005.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 2006.

BARETTA, D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com Araucaria angustifolia no Estado de São Paulo**. 2007. 157 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; MAFRA, A. L.; WILDNER, L. P.; MIGUELUTTI, D. J. Fauna edáfica avaliada por armadilhas. **Revista Ciência Agroveterinária**, v. 2, n. 1, p. 97-106, 2003.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG FILHO, O. K.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, 2011, p. 119-170.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 105-112, 1997.

BERNARDI, A. D. C.; NAIME, J. D. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L.; INAMASU, R. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa Pecuária Sudeste, 2014. 596 p.

BERTOLLO, A. M.; MENEGOL, D. R.; KOPPE, E.; CORASSA, G. M.; SANTI, A. L.; SILVA, V. R. Variabilidade espaço-temporal da resistência a penetração em área cultivada com plantas de cobertura. In: II Congresso Sul Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas. **Anais... Não-me-toque: II APSul América**, 2013. Não paginado.

BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolos Vermelhos distrófico típico sob o sistema de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 167-177, 2001.

BISOGNIN, F. B. **Produtividade da cultura do milho safrinha em sucessão a diferentes plantas de cobertura e doses de nitrogênio**. 2013. 34 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria. Frederico Westphalen.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; COSTA, M. B. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 1993. p. 1-56.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., (eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769-850.

CAPELLE, C. V.; SCHRADER, S.; BRUNOTTE, J. Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota e A review with a focus on German. **European Journal of Soil Biology**, v. 50 , p. 165-181, 2012.

CASTRO, D. M. **Variáveis biométricas e componentes de rendimento do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), cv. IPR TIZIU, em função dos**

diferentes sistemas de manejo. 2015. 36 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria. Frederico Westphalen.

CAVALCANTE , V. S.; VALDERAN, R. S.; SANTOS NETO, A. L.; SANTOS, M. A. L.; SANTOS, C. G.; COSTA, L. C. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 521–528, 2012.

CORASSA, G. M. **Manejo por ambiente: atributos de solo e desempenho de cultivares de soja.** 2015. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria. Frederico Westphalen.

CORASSA, G. M. **Técnicas de Agricultura de Precisão aplicadas à avaliação da distribuição espacial da fauna edáfica em Sistema Plantio Direto.** 2012. 45 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria. Frederico Westphalen.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. Nutrição e produtividade do amendoim em sucessão ao cultivo de plantas de cobertura no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.11, p.1553-1560, 2007.

CUBILLA, M.; REINERT, D. J.; AITA, C.; REICHERT, J. M. Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v. 71, p. 29-32, 2002.

DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, G. W. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 241-247, 1997.

DAL BELLO, R. A. M.; SILVA, D. A. A.; SANTI, A. L.; FIORESI, D.; BARON, F. A.; FONSECA, A. F. Distribuição espacial de bioindicadores de qualidade edáfica em diferentes sistemas de manejo. In: III Congresso Sul Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas. **Anais... Não-me-toque: III APSul América**, 2015. Não paginado.

DALLA NORA, D. ; AMADO, T. J. C. ; NOVAIS, E. J. P. ; POTT, E. ; OERLECKE, D. ; XAVIER, J. S. ; BORTOLOTTO, R. ; MAZUCO, A. C. B. ; GRUHN, E. M. . Melhoria da qualidade química do perfil do solo sob plantio direto pela adição de gesso e de enxofre elementar isolada ou combinada com calcário e a produtividade das culturas. **Revista Plantio Direto**, v. 137-138, p. 51-64, 2013.

DUDA, G. P.; GUERRA, J. G. M.; MONTEIRO, M. T.; DE-POLLI, H.; TEIXEIRA, M. G. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 1, p. 139-147, 2003.

FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F. A Pedologia e a Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. D. C.; NAIME, J. D. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L.; INAMASU,

R. (eds). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa Pecuária Sudeste, 2014. p. 36-47.

FIORIN, J. E. Rotação de culturas e as plantas de cobertura do solo. In: FIORIN, J. E. **Manejo e fertilidade do solo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Berthier, 2007. p. 145-184.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 52 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, n. 327).

FRANCHINI, J. C.; SARAIVA, O. F.; DIBIASI, H.; GONÇALVES, S. L. **Contribuição de sistemas de manejo do solo para a produção sustentável da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 11 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, n. 58).

GASSEN, D.; GASSEN, F. **Plantio direto: o caminho do futuro**. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996. 207 p.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J. & REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p.477-484, 2004.

GIRACCA, E. N. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; ELTZ, F. L. F.; BENEDETTI, E.; LASTA, E.; VENTURINI, S. F.; VENTURINI, E.; BENEDETTI, T. Levantamento da meso e macrofauna do solo na microbacia do Arroio Lino, Agudo/RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 3, p. 257-261, 2003.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T. G. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1234-1244, 2014.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v. 8, p. 121-145, 2005.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistema de manejo do solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.145-154, 1999.

KUBOTA, A.; HOSHIBA, K.; BORDON, J. Green-manure turnip for soybean based no-tillage farming systems in eastern Paraguay. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 150-158, 2005.

LIAGHAT, S.; BALASUNDRAM, S. K. A review: The role of remote sensing in precision agriculture. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 5, n. 1, p. 50-55, 2010.

LIMA, A.C.R.; BRUSSAARD, L. Earthworms as soil quality indicators: local and scientific knowledge in rice management systems. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 26, n. 2, p. 109-116, 2010.

MANTOVANI, E. C.; MAGDANELA, C. **Manual de Agricultura de Precisión**. PROCISUR - Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur, 2014. 174p.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F. et a. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471-550.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. ; MAQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. V. H. (eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, 2003, p. 209-248.

MILANI, L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 591-598, 2006.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão, parte I: o que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, v.17, p.97-107, 1997.

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. D.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1723-1734, 2008.

OLIVEIRA, C. M.; RESCK, D. V. S.; FRIZZAS, M. R. **Artrópodes Edáficos: influência dos sistemas de preparo do solo e de rotação de culturas**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. 25 p.

REICHERT, J.M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

RESENDE, A. V.; VILELA, M. F. Avaliação geral, resultados e perspectivas do uso de agricultura de precisão em culturas anuais. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (eds). **Agricultura**

de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 135-137.

ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S.; TIRITAN, C.S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 65, p. 109-115, 2002.

SÁ, J. C. M. O Plantio direto com base do sistema de produção no sequestro de carbono. **Revista Plantio Direto**, n. 84, 2004.

SALVADOR, M. M. S.; LIBARDI, P. D.; BRITO, A. S.; MOREIRA, N. B. Estabilidade temporal e variabilidade espacial da distribuição da armazenagem de água no solo numa sucessão feijão/aveia-preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n. 5, p.1434-1447, 2012.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão.** 2007. 175 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; FLORA, L. P. D.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1346-1357, 2012.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; SILVA, R. F.; DA ROS, C. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 510-515, 2013.

SANTI, A. L.; CORASSA, G. M.; BASSO, C. J.; SILVA, D. A. A.; FLORA, L. P. D.; FIORESI, D.; BARON, F. A.; MARTINI, R.; BRONDANI, M. S. Cobertura permanente, estrutura do solo e a garantia de altos rendimentos. **Revista Plantio Direto**, v. 142-143, p. 20-23, 2015.

SANTI, A. L.; CORASSA, G. M.; GAVIRAGHI, R.; BISOGNIN, M. B.; BASSO, C. J.; FLORA, L. P. D.; CASTRO, D. M.; FLORA, D. P. D. Multifuncionalidade de biomassas de cobertura do solo e agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 137-138, p. 16-23, 2014.

SHANNON, E. V.; WEAVER, W. **The Mathematical theory of Communication.** Illinois: Universisty of Illinois Press, 1949, 17 p.

SILVA, D. A. A. 2015. **Estratégias de agricultura de precisão para definição de Planos de Manejo Inteligentes.** (Dissertação de Mestrado não publicada). Universidade Federal de Santa Maria. Frederico Westphalen.

SILVA, D. A. A.; SANTI, A. L.; DAL BELLO, R. A. M.; FIORESI, D.; BARON, F. A. Perfil espacial dos atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo.

In: III Congresso Sul Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas. **Anais...** Não-me-toque: III APSul América, 2015. Não paginado.

SILVA, R. F.; CORASSA, G. M.; BERTOLLO, G. M.; SANTI, A. L.; STEFFEN, R. B. Fauna edáfica influenciada pelo uso de culturas e consórcios de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, p. 130-137, 2013.

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MARCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 697-704, 2006.

STEFFEN, G. P. K.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, R. B.; JACQUES, R. J. S. Importância ecológica e ambiental das minhocas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 137-147, 2013.

STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, G. P. K. Avaliação de substratos para reprodução de colêmbolos nativos em condições de laboratório. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 3, p. 265-269, 2007.

SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, v. 65, p. 121-127, 2006.

SUSZEK, G.; SOUZA, E. G.; OPAZO, M. A. U.; NÓBREGA, L. H. P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 5, p. 895-905, 2011.

SWINTON, S. M.; LOWENBER-DEBOER, J. Evaluating the profitability of site-specific farming. **Journal of Production Agriculture**, v. 11, n.4, p. 439-446, 1998.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; SILVA, C. A.; ANDRADE, M. J. B.; PEREIRA, J. M. Liberação de macronutrientes das palhadas de milheto solteiro e consorciado com feijão-de-porco, sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 497-505, 2010.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1023-1031, 2004.

TREIN, C. R.; LEVIEN, R.; SOUZA, L. F. C.; Tráfego controlado: pneus e compactação. **Cultivar Máquinas**, v. 41, p. 22-25, 2005.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M.F.; Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, v.32, n.1, p.159-163, 2002.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L. K.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 969–977, 2012.

VEZZANI, F. M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. 2001. 143p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VIANA, J. H. M. **Distribuição espacial de atributos físico-químicos, mineralógicos e micromorfológicos de Latossolos visando o mapeamento de áreas produtivas**. 2005. 194 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

VILAS BOAS, R. C.; MOREIRA, F. M. S. Microbiologia do solo no ensino médio de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 295-306, 2012.

ZACHI, A. F.; SILVA, D. A. A.; SANTI, A. L.; DAL BELLO, R. A. M.; FIORESI, D.; BARON, F. A. Distribuição espacial de Oligochaetas em diferentes sistemas de manejo do solo. In: III Congresso Sul Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas. **Anais...** Não-me-toque: III APSul América, 2015. Não paginado.

CAPÍTULO 13

O uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) na agricultura¹

Júnior Melo Damian², Michele Fornari³, Antônio Luis Santi⁴, Osmar Henrique de Castro Pias², Diego Armando Amaro da Silva², Alencar Zachi da Fonseca⁵, Romano Augusto Martini Dal Bello⁵, Fagner Augusto Rontani⁵

Resumo

Os conceitos sobre agricultura de precisão (AP) foram muitos desde do seu início em 1929, porém o ponto central entre eles, refere-se a evolução na forma de fazer, gerir e pensar a agricultura. Com a AP, houve uma geração de novos paradigmas, em que antigos conceitos puderam ser aprimorados e/ou extinguidos, novas idéias foram sendo lapidadas com maior liberdade possibilitando que a agricultura pudesse ser elevada a um patamar de reconhecimento como um setor importante na economia global, sendo mais competitiva do que no passado. Nessa linha de raciocínio, uma das mais recentes tecnologias proporcionadas pela AP estão os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS), popularmente conhecidos como "drones" ou "zangões". No processo evolutivo da AP, pode-se dizer que a tecnologia dos RPAS está entre as mais difundidas, pois apesar de ser recente, houve uma grande aceitação, principalmente pela possibilidade de uso dessa tecnologia como ferramenta para otimizar grande parte de operações agrícolas. Pesquisas estão sendo realizadas no Brasil, inclusive no RS, buscando provar cientificamente, que os RPAS são ferramentas eficientes e eficazes para serem utilizados na agricultura nos seus mais diversos ramos. Baseado nisso, nesse capítulo pretende-se discutir a temática que aborda o uso de RPAS na agricultura, relatando os principais conceitos básicos dessa tecnologia. Se fará uso de exemplos atuais das principais potencialidades dessa tecnologia na agricultura que estão sendo

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor

² Mestrando em Agronomia Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, 98400-000 Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: henriquepias@yahoo.com.br; juniormelodamian@hotmail.com

³ Professora da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Br 285, São José, 99052-900 Passo Fundo RS, Brasil. E-mail:michelefornari@gmail.com

⁴ Professor do Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, 98400-000 Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: santi_pratica@yahoo.com.br

⁵ Graduando do curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen. Linha Sete de Setembro, s/n, BR-386, Km 40, 98400-000 Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: alencarzif@hotmail.com; romanoaugusto1@hotmail.com, fagner_rontani@outlook.com

pesquisados a nível mundial e brasileiro, assim como, alguns resultados de estudos preliminares no RS.

Palavras-chave: imagens aéreas, sensor remoto, índice de vegetação, manejo em tempo real.

Utilization of UAVs in agriculture

Abstract

The concepts of precision agriculture (PA) have many since its beginning in 1929, but the central point between them, refers to evolution in the form of do, manage and think agriculture. With AP, there was a generation of new paradigms, at which old concepts could be perfected and/or extinguished, new ideas were refined with greater freedom enabling that agriculture could be elevated to a recognition level as an important sector in the global economy being more competitive than in the past. In this line of reasoning, one of the latest technologies offered by the AP are Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), commonly known as "drones" or "drones". In the evolutionary process of the AP, one can say that the technology of RPAS is among the most pervasive, because despite being recent there was great acceptance, especially by the possibility of using this technology as a tool for optimizing large part of agricultural operations. Researches are being carried out in Brazil, including in the RS, trying to prove scientifically that RPAS are efficient and effective tools for use in agriculture in its various branches. Based on this, this chapter intend to discuss thematic which addresses the use of RPAS in agriculture, reporting the main basic concepts of this technology. Will make use of current examples of the main potentialities of this technology in agriculture that are being searched at global and Brazilian level, as well as some results of preliminary studies in RS.

Keywords: aerial images, remote sensing, vegetation index, real-time management.

13.1 Introdução

Diante da necessidade de aprimoramento na eficiência da produção de alimentos, a aquisição de novas técnicas e tecnologias para a gestão do sistema de produção, sendo entre essas a Agricultura de Precisão (AP). Segundo Valente et al. (2011), a AP surge como um novo conceito de manejo, em outras palavras, pode ser considerada como uma estratégia de gestão que utiliza a tecnologia da informação com o objetivo de melhorar a produção e a sua qualidade. Desde 1929 nos EUA até os dias de hoje, a AP tem evoluído constantemente, onde recentemente, ferramentas mais avançadas têm sido utilizadas, tais como sensores físicos como anemômetros e termômetros e sensores eletrônicos mais complexos como por exemplo, sensores de pH e sensores de gás ou analisadores hiperespectrais. No entanto, a aquisição de dados a partir dessas ferramentas é de difícil manuseio e não está disponível em tempo real.

Atualmente são intensas as iniciativas que visam à disponibilização de imagens de sensores orbitais capazes de permitir inferências confiáveis e em tempo real sobre sua dinâmica espaço-temporal de vegetação (Freitas et al., 2011). De acordo com Risso et al. (2012), esse fato denota da dificuldade em monitorar sistemas dinâmicos, como nesse caso, a agricultura que é de ciclo anual e por ser de ocorrência de escalas espaciais e temporais requer um aporte científico maior.

Os recentes avanços AP apontam para a crescente utilização de imagens de satélites, bem como, a utilização dos chamados Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS), que estão se destacando como uma tecnologia emergente na AP, os quais possibilitam a obtenção de informações bem como a tomada de decisão em tempo real (Colomina & Molina, 2014). Os RPAS são conhecidos sob vários nomes e siglas diferentes, tais como " robô aéreo " ou simplesmente "drone", ou "zangão", sendo esses, os mais populares, pelo fato do ruído causado durante o vôo, assemelhando-se ao uma abelha.

A tecnologia dos RPAS representa a mais recente, evolução na agricultura. Nesse quesito, pode-se inferir que dentre as inovações proporcionadas pela AP, os RPAS representam a mais impactante no que refere-se velocidade de disseminação e utilização. De acordo com pesquisas de mercado recentes (MARKETSANDMARKETS, 2015), o mercado dos RPAS foi estimado em US\$ 10,1 bilhões em 2015, e é esperado para chegar a US\$ 14,9 bilhões em 2020, demonstrando que o crescimento dessa tecnologia futuramente causará um grande impacto na economia mundial.

Na Figura 1 estão as principais ferramentas disponíveis durante o processo evolutivo e histórico da AP, onde entre elas estão, a amostragem georreferenciada (construção do histórico de fertilidade do solo), taxa variada de fertilizantes, taxa variada de sementes, mapas de colheita e os RPAS como novas ferramentas para aferição da cultura em tempo real (estado nutricional, stress hídrico, ataque de pragas entre outros).

Em novas diretrizes, no Brasil em nove (9) novembro de 2015 houve as primeiras tentativas no processo de regulamentação do uso de RPAS por meio da portaria Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) nº 415/DGCEA, aprovando a edição da ICA 100-40, que trata dos "Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro", sendo essa, uma adequação da legislação existente para a acomodação dos RPAS pelo espaço aéreo com as aeronaves tripuladas, com o foco principal na segurança de uso em relação as aeronaves e pessoas. O ICA 100-40, foi o primeiro documento do gênero para RPAS no Brasil porém ainda aguarda-se para 2016 a liberação da regulamentação dos RPAS por parte da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Essa regulamentação poderá trazer novos rumos para a utilização de RPAS em larga escala, pois com ela, empresas nacionais não precisarão mais se restringir-se a contratos com outros fabricantes

em segmentos como é o caso da agricultura, aumentando a competitividade das fabricantes brasileiros e oportunizando maiores acesso a tecnologia por parte dos usuários com menor custo.

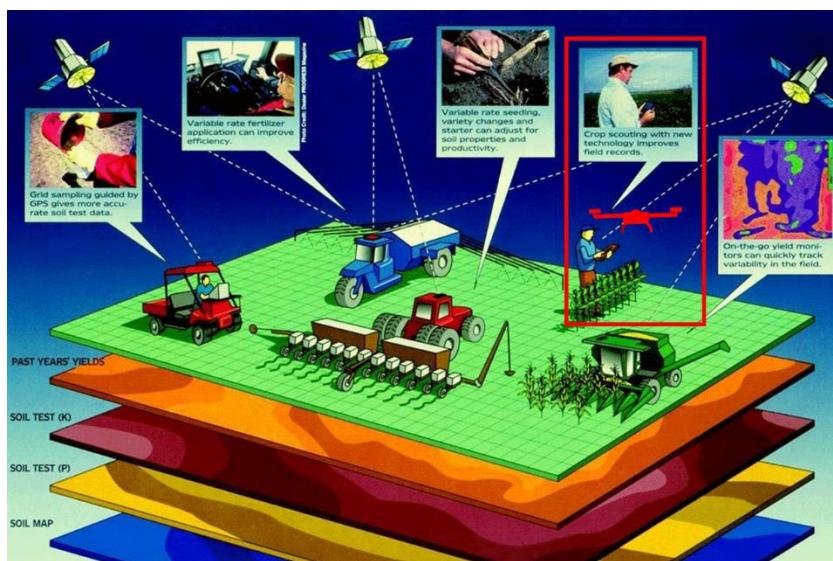


Figura 1 Representação das principais ferramentas utilizadas na agricultura de precisão sendo a mais recente os RPAS. Adptado de GPS4US, (2011).

13.2 Histórico da tecnologia

13.2.1 Primeiros protótipos

Mesmo sendo uma novidade para alguns, a noção de utilizar artefatos para vôos não tripulados é rudimentar. A primeira utilização dessa forma de vôo foi realizada pelo padre brasileiro Bartolomeu Lorenço de Gusmão (Brandão et al., 2007), em que este em 1709, demonstrou ao então rei de Portugal João Quinto um balão de ar quente que ele mesmo projetou e construiu, sendo que mais tarde, o balão de ar quente seria utilizado como o primeiro instrumento para realizar aerolevantamentos, o que ainda é realizado até os dias de hoje. Porem, além do balão de ar quente outros instrumentos foram utilizados como veículos para vôos não tripulados como é o caso de pipas e aves.

Baseado no que foi abordado inicialmente, pode-se dizer que os primeiros RPAS não se parecem em nada com os sofisticados modelos utilizados nos dias de hoje. Os modelos mais aproximados, vieram motivados por um viés militar, objetivando o registro de informações sobre o território

inimigo. Na Figura 2 abaixo têm-se a representação do primeiro modelo rádio controlado utilizado para esse fim, datando de 1935, o chamado RP-1, sendo posteriormente denominado OQ-1 em 1939 após aperfeiçoamentos.

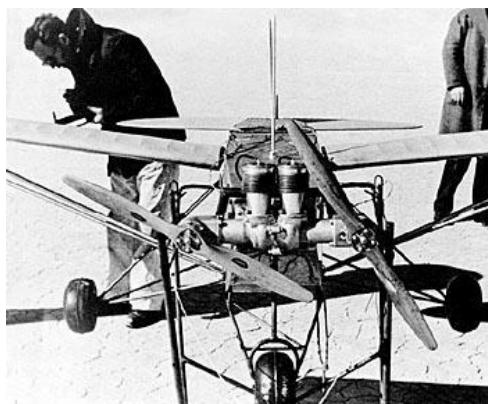


Figura 2 Modelo OQ-1, a primeira aeronave rádio controlada. Fonte: Hardgrave, (2005).

Os primeiros relatos de no Brasil emergiram apenas na década de 80 também com um propósito militar, como rege os primeiros usos dessa ferramenta em larga escala mundialmente. Nessa época o Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) desenvolveu o projeto Acauã (Oliveira, 2005), sendo o pioneiro nessa linha no Brasil. Esse projeto tinha como objetivo principal, desenvolver uma plataforma de ensaio visando a formação de sistemas de controle e telemetria para um futuro alvo aéreo manobrável com o míssil “Piranha”, então em testes. O protótipo possuía uma envergadura de 5,1 m, comprimento de 4,8 m, peso de 120 kg e atingia uma velocidade de 100 km/h (Figura 3). Como objetivo secundário, pretendia-se desenvolver um RPAS com potencial militar e civil, que possibilitasse reconhecimento tático, identificação de frequências de operação de radares e monitoramento de recursos naturais. Mesmo passando por dificuldades financeiras, com o projeto Acauã, ao todo, construiu-se cinco protótipos.

Como a ascensão dos RPAS a nível mundial, uma das primeiras questões que surgem por parte dos futuros usuários, refere-se a qual a vantagem em termos operativos, qualidade da utilização de RPAS em relação a outros meios tradicionais utilizados no sensoriamento remoto, como exemplo, as imagens de satélites. Para responder essa questão, basear-se-á na Figura 4, nesta está representada a resolução temporal, ou seja, a frequência de obtenção de imagens e a resolução especial, referente a qualidade da imagem (dimensão de pixel) para diferentes formas de aquisição das imagens e áreas de aplicação. Nesse caso, quanto mais próximo da área de convergência maior será a resolução espacial e temporal. Em destaque, estão as imagens adquiridas com

os RPAS, que permitem uma maior frequência de aquisição de dados com uma resolução alta, possibilitando que, em áreas que demandam um fornecimento de dados frequentes, com um certo grau de acurácia, como é o caso da agricultura, possa ser atendido por meio dessa tecnologia.



Figura 3 Protótipo desenvolvido pelo projeto Acauã. Fonte: Oliveira, (2005)

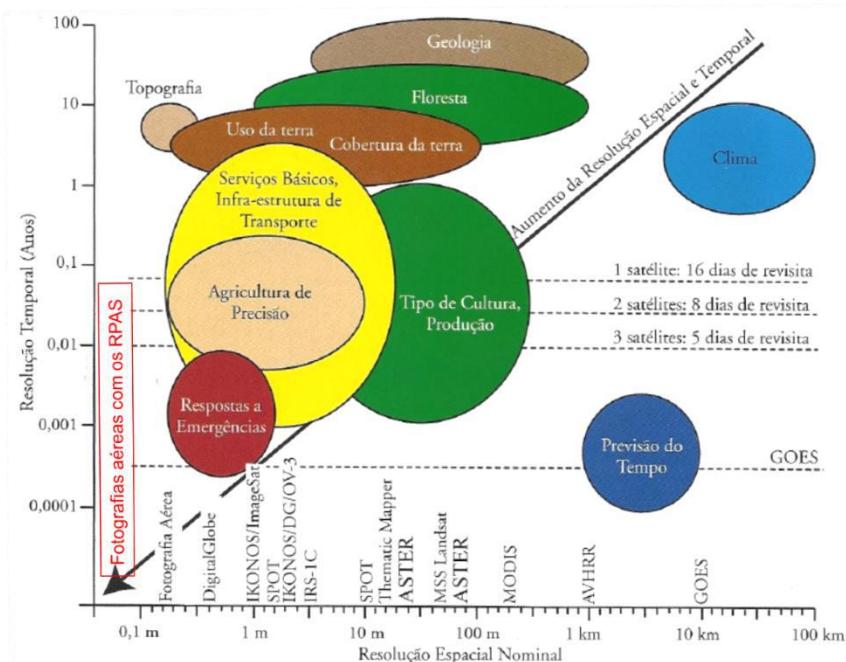


Figura 4 Resolução espacial e temporal do sensoriamento remoto adquiridas com diferentes sensores e áreas de aplicação, com destaque a qualidade de imagens adquiridas com os RPAS. Fonte: Adaptado de Jensen, (2009).

13.2.2 Conceitos iniciais do uso dos na agricultura

Herwitz et al. (2004), já relatavam que era provável que os RPAS iriam ser uma ferramenta de grande interesse e uso na agricultura, onde esses iniciaram a oferecer novas alternativas para a agricultura e outras aplicações em que se necessita de imagens com alta resolução espacial entregues em tempo quase real. Essa constatação remete a carência pela agricultura de imagens com alta resolução e em tempo real.

No setor agrícola a nível mundial, os RPAS tiveram seu início no Japão, na década de 80, quando a Yamaha recebeu um pedido para o desenvolvimento de um novo tipo de helicóptero não tripulado para fins de manejos na colheita e na pulverização. O modelo denominado RMAX, é capaz de carregar até 30 kg, voar por cerca de 90 minutos com um alcance de 10 km (Figura 5). Pode-se dizer que esse modelo foi o marco inicial no desenvolvimento da concepção de utilizar RPAS na agricultura, pois até então, os principais usos dessa tecnologia restringiam-se basicamente para operações militares.



Figura 5. Modelo RMAX da Yamaha. Fonte: Yamaha, (2002).

Quando os primeiros boatos acerca da utilização de RPAS na agricultura foram discutidos, como é normal, as primeiras perguntas referiam-se ao custo dessa tecnologia e quais eram as vantagens de substituir algumas ferramentas do sensoriamento remoto até então mais conhecidas e utilizadas como é o caso de imagens de satélites. Essas questões ainda são pautas frequentes quando se aborda essa temática.

Em âmbito econômico, um exemplo simples pode ser feito, visando contextualizar o custo de utilizar a tecnologia dos RPAS na agricultura. Diga-se que o objetivo é determinar o NDVI na lavoura comercial com a cultura do milho e almeja-se calcular o NDVI buscando ajustar a dose da adubação nitrogenada. Nesse caso, quando o objetivo é alcançar altos rendimentos, as aplicações a lanço de nitrogênio seriam nos estágios V3 e V6 do milho. Baseado nisso, ter-se-ia de realizar então no mínimo, duas leituras de NDVI, sendo uma antes de cada aplicação. Para esse exemplo, será feita a comparação entre o NDVI calculado a partir de imagens de um RPAS e por meio de imagens com satélites.

O RPAS utilizado nesse exemplo, juntamente com demais ferramentas de voo e processamento das imagens (câmera NIR, Softwares, etc.), estaria orçado em aproximadamente R\$ 85.000,00 a preço atual de mercado. A imagem de satélites a ser utilizada é oriunda do Wordview 2 com resolução de 0,5 m, com um custo de R\$ 8.000,00, sendo assim, com um custo total de R\$ 16.000,00 (duas leituras). Portanto, somente nesse caso, para o cálculo do NDVI para estimar a quantidade de adubação nitrogenada para a cultura do milho, o custo RPAS seria quitado em menos de seis anos. Cabe ressaltar que seis anos seria apenas se o mesmo fosse utilizado para o exemplo, sendo que, com a aquisição de um RPAS, provavelmente o RPAS este teria várias outras aplicações, possibilitando a diluição do custo.

13.2.3 O uso de sensores acoplados nos RPAS

Com os avanços tecnológicos na agricultura, sensores estão se tornando mais presentes nas propriedades agrícolas. Com a presença dos equipamentos de aplicação em taxa variável existe a necessidade de se detectar rapidamente a variabilidade das culturas e tomar decisões em campo. Alguns sensores estão permitindo mudanças nas práticas agrícolas, detectando a variabilidade e respondendo a essa com decisões em tempo real, como por exemplo os sensores acoplados nos RPAS.

Muitas das informações necessárias para caracterizar determinado fenômeno podem ser obtidas com a aplicação de técnicas de levantamento baseadas na integração de sensores como câmaras digitais, receptores GNSS (Global Navigation Satellite System), espetrorradiômetros, dispositivos imageadores multiespectrais e hiperespectrais, LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), entre outros. As novas tecnologias de imageamento digital permitem gerar imagens com qualidade em suas propriedades radiométricas, imagens com resposta linear, intervalo dinâmico, resolução radiométrica ampla e baixo nível de ruído (Honkavaara et al., 2008).

As plantas emitem e refletem radiação eletromagnética, que pode ser captada por esses sensores a determinados comprimentos de onda. Essa radiação fornece informações sobre desenvolvimento e sanidade das culturas e permite acompanhamento (Lamparelli et al., 2004). Existem dois comprimentos de onda que apresentam relação direta com variáveis na planta, intimamente relacionadas com a produtividade: ondas do espectro do vermelho (V), cuja reflectância é menor em condições de maior quantidade de clorofila e ondas do espectro do infravermelho (IV), cuja reflectância é maior quanto maior for o acúmulo de MS na planta.

A reflectância medida pode sofrer interferência de fatores externos a cultura o que pode ser solucionado parcialmente através da utilização de índices de vegetação. O índice de vegetação por diferença normalizada, mundialmente conhecido como NDVI, utiliza dados de reflectância do vermelho e infravermelho,

sendo calculado pela equação $NDVI = (PIV - PV) / (PIV + PV)$, onde PIV e PV são as reflectâncias no infravermelho próximo e no vermelho, respectivamente. Os valores de NDVI vão de uma escala de -1 a 1. Quanto maiores os valores do NDVI, maiores as diferenças entre a reflectância do infravermelho com o vermelho, o que indica maior quantidade de clorofila e MS e, consequentemente, maior o potencial produtivo da planta.

Muitos pesquisadores usaram esse índice para estimar parâmetros das culturas como radiação fotossinteticamente ativa e índice de área foliar (Baret et al., 2007), conteúdo de clorofila nas folhas (Tumbo et al., 2002), cobertura do solo (Boissard et al., 1992), acúmulo total de matéria seca (Tucker et al., 1981), conteúdo de água (Waheed et al., 2006), produtividade aplicação de Nitrogênio (Povh, 2011), e muitas outras propriedades químicas da vegetação.

Com o advento da AP, tornou-se necessário imagens mais detalhadas sobre a cultura e rapidez na detecção do fenômeno para realizar o manejo adequado, assim, a alternativa de solução baseada em imagens provenientes de sensores acoplados nos RPAS tornou-se uma ferramenta imprescindível para AP.

13.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O índice NDVI, proposto por Rouse et al. (1973), como já citado, é baseado na razão normalizada de duas bandas, do vermelho e do infravermelho próximo, sendo calculado pela diferença entre estes dividida pela soma dos mesmos. É adimensional, sendo que os seus valores oscilam entre -1 e +1, que correspondem às características de estresse hídrico (próximo a -1) a uma vegetação exuberante (próximo de +1). A água tem reflectância na banda do vermelho maior que na banda do infravermelho próximo, portanto valores negativos de NDVI. As nuvens refletem de forma semelhante no visível e no infravermelho próximo. Espera-se que o valor do pixel seja em torno de zero. O solo nu e com vegetação rala apresenta valores positivos, mas não muito elevados. Vegetação densa, úmida e bem desenvolvida apresenta os maiores valores de NDVI.

Moreira (1997), ao empregar o NDVI para detectar os efeitos do estresse de água na cultura do trigo, concluiu que este índice foi mais consistente do que a análise das informações espectrais de bandas individuais simuladas do sensor TM do LANDSAT-5; utilizando o NDVI foi possível também perceber as diferenças nos valores do FR tanto na banda TM3, quanto na banda TM4, ocorridas em datas diferentes. Outros pesquisadores como Turner et al. (1992), Rudorff et al. (1997), Cunha, (2000), fizeram a mesma notação.

Tucker (1979) avaliou o índice NDVI, na estimativa da MS acumulada acima do solo na cultura do trigo, e concluiu que fatores adversos que afetam o crescimento e o desenvolvimento da cultura são evidentes no comportamento

desses índices, sendo afetado pelo conteúdo de clorofila quanto pela fitomassa foliar verde. Rudorff et al. (1997), monitorando a cultura de trigo através do NDVI, constataram que, a partir de 30 dias após semeadura, é possível identificar diferenças espectrais, correlacionando-se de forma positiva com a produtividade da cultura.

No manejo do N, doses diferentes de N, afetam o índice de vegetação NDVI, aumentando proporcionalmente conforme as doses, devido à maior reflexão no comprimento de onda no infravermelho próximo e maior absorção no vermelho (Pedrotti, 2014).

Pedrotti, (2014) e Lavarda, (2014) quando utilizaram um sensor multiespectral acoplado no RPAS em estudos com trigo, observaram que as leituras de NDVI apresentaram correlação e regressão, significativas, com elevados coeficientes, para as variáveis, doses de N na semeadura, quantidade de MS acumulada e produtividade, comprovando o potencial da utilização da ferramenta para aplicação de doses de N.

Segundo esses mesmos autores, doses crescentes de N, promoveram maiores valores de NDVI no trigo. Estes resultados confirmam dados encontrados por Serrano et al. (2000), os quais relatam que este efeito ocorre principalmente pelo aumento de reflectância no infravermelho em função de maior acúmulo de MS e maior absorbância no vermelho em função de maior quantidade de clorofila na folha. Constatou-se o efeito direto das doses de N nas leituras de NDVI, observando-se coeficientes de determinação superiores a 0,97, 0,93, 0,91 e 0,94 conforme Figura 6.

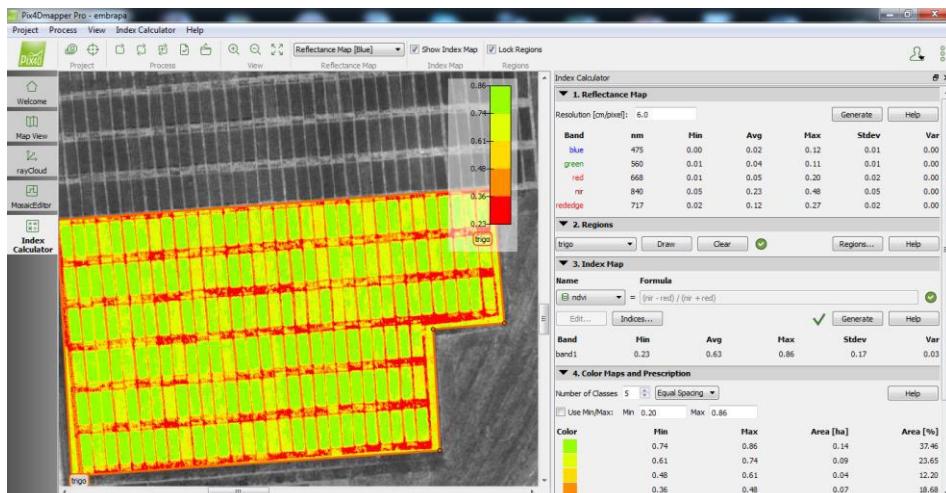


Figura 6 Valores NDVI do Trigo obtidas por sensor Micasense acoplado no RPAS. Fonte: Fornari, 2014.

Esse estudo foi desenvolvido na região de Coxilha RS e foi o primeiro no Brasil a utilizar o sensor multiespectral Micasense acoplado no RPAS, trazendo uma inovação na área da agricultura de precisão e confirmando o quanto essa ferramenta pode auxiliar na aplicação de N no trigo de forma eficiente.

13.3.1 Etapas para utilizar o RPAS no estudo da vegetação

Após definir o modelo do RPAS e o sensor a ser utilizado, basicamente segue-se as seguintes etapas:

- a) Planejamento de voo e calibração do sensor;
- b) Voo com sobreposição;
- c) Obtenção de imagens georreferenciadas e mosaicos;
- d) Geração dos relatórios.

13.4 Planejamento do voo e calibração do sensor

O planejamento de voo inicia-se com a seleção das condições do voo, ou seja, a altitude, velocidade de voo, resolução das imagens e resolução do pixel nas unidades de terreno, e, finalmente as normas e regulamentos de voo.

Para produzir as imagens multiespectrais que forneçam informações que estejam de acordo com o referencial radiométrico conhecido necessita-se realizar a calibração geométrica.

A calibração radiométrica é utilizada com a intenção de estabelecer uma relação entre as quantificações da radiação refletida ou emitida pelos objetos presentes na superfície analisada, registradas por sensores remotos, e as quantidades de radiação refletidas ou emitidas (Ponzoni et al., 2007). O principal objetivo é determinar os modelos de resposta radiométrica. Existem dois tipos de calibração: a absoluta e a relativa (Honkavaara et al., 2009).

Basicamente, a calibração radiométrica absoluta determina para cada canal do sensor os parâmetros e modelos necessários para transformar o número digital (ND) em valores físicos de radiância (Dinguirard & Slater, 1999). Enquanto que a na relativa realiza-se a normalização da imagem fazendo com que a resposta espectral registrada seja uniforme (Honkavaara et al., 2009). O resultado dessa normalização é que todos os detectores do sensor ganham o mesmo valor de saída enquanto o plano focal do sensor é irradiado por um feixe uniforme de radiância (Dinguirard & Slater, 1999).

A calibração de sensores deve ser realizada antes da colocação do sensor na plataforma (calibração em laboratório), assim como devem ser realizadas calibrações durante o voo.

Assim, existe também a calibração em voo que utiliza lâmpadas de calibração ou mesmo a luz natural proveniente do Sol (Dinguirard & Slater,

1999). Na calibração radiométrica “*vicarious*” (ou calibração vigária), alvos de referência são posicionados na superfície terrestre ou, utilizados objetos da própria cena, de modo que se possa aferir a sensibilidade dos detectores. Esses alvos são caracterizados espectralmente e, dependendo do método utilizado, pode ser baseado na radiância ou reflectância (Dingirard & Slater, 1999).

13.4.1 Voo com sobreposição

Segundo Pina & Santos (2000), o voo fotogramétrico é executado como a finalidade de se obter a cobertura aerofotogramétrica da área. A cobertura aerofotogramétrica visa obter a feição de toda a área em modelos estereoscópicos, obtidos pela superposição de duas fotografias sucessivas, como mostra a Figura 7.



Figura 7 Sequencias de fotografias sobrepostas realizadas em um voo fotogramétrico. Fonte: Fontes, (2005).

Os voos aerofotogramétricos são planejados em uma escala, que atenda as demandas de reconhecimento e mapeamento final do projeto. O levantamento com uso de fotografias aéreas é feita por faixas, que por sua vez são constituídas por fotografias superpostas, de modo que envolve toda a área, resultando em blocos de fotografias. (Pina & Santos, 2000).

Considerando-se a experiência e obtenção de imagens com qualidade para agricultura de precisão, recomenda-se a sobreposição lateral de 60% e 30% de sobreposição entre as faixas, conforme Figura 8.

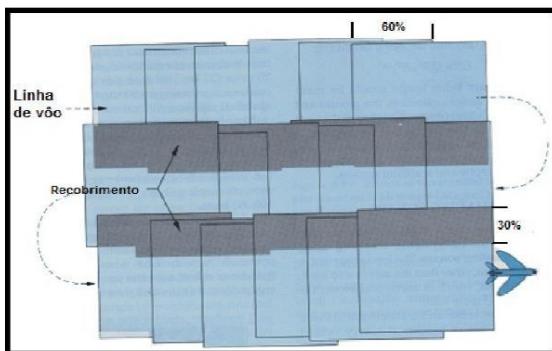


Figura 8 Esquema de plano de voo com fotos sobrepostas no sentido do voo e entre as faixas. Fonte: Adaptado de Pina & Santos (2000).

A altitude de voo é determinante na quantidade de imagens geradas e no tamanho do pixel sobre o terreno. Pode-se calcular a área coberta no voo usando a seguinte expressão:

$$\text{Superfície Coberta (Km}^2\text{)} = T \cdot V \cdot W$$

sendo: T (h) = tempo de voo;

V (Km/h) = velocidade sobre o solo;

W (km) = largura da foto no solo.

No recobrimento da área a ser fotografada, o RPAS segue em um determinado sentido durante o voo, retornando em seguida no sentido oposto, em faixas pré-determinadas, paralelas e de espaçamento igual. Para cada faixa de voo é tirada uma série de fotografias, para compor uma sequência de pares que serão empregados, em seguida, em operações de estereocompilação em softwares específicos.

13.4.2 Obtenção de imagens georreferenciadas e mosaicos

Georreferenciar uma imagem é tornar suas coordenadas conhecidas num dado sistema de referência, processo que se inicia com a obtenção de coordenadas em um sistema de projeção (coordenadas de mapa E-W ou latitude e longitude) e as equivalentes coordenadas espaciais de pontos da imagem a ser corrigida. O georreferenciamento tem desta forma a finalidade de inserir nas imagens um sistema de projeção de coordenadas. No processamento de imagens aéreas, o georreferenciamento é executado simultaneamente, em uma única operação em todas as bandas (Figura 9).

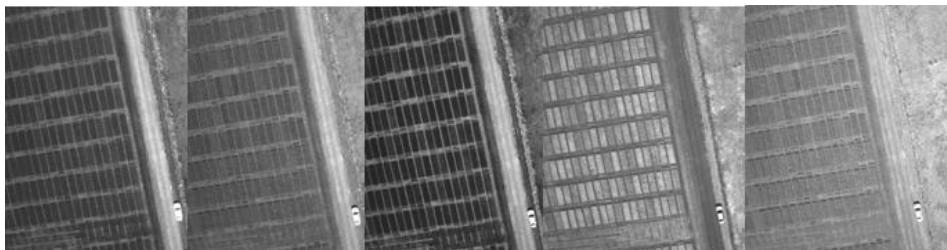


Figura 9 Obtenção das imagens georreferenciadas nas cinco bandas do espectro. Fonte: Pedrotti, 2014.

O georreferenciamento não usa informações inerentes à aquisição da imagem. Quando o georreferenciamento é concluído, a imagem passa a possuir coordenadas definidas por um sistema de projeção geográfica. Todos os pixels poderão, então, serem lidos por coordenadas geográficas, tal como se localiza um objeto ou uma feição numa carta topográfica. O georreferenciamento é uma operação sempre necessária para se fazer a integração da imagem a uma base de dados espaciais num sistema de informação geográfica.

O modelo mais comum de georreferenciamento de imagens consiste em estabelecer relações matemáticas entre as posições dos pixels na imagem e as correspondentes coordenadas desses pixels no terreno, via mapas geometricamente corretos (cartas topográficas). A correção é processada igualmente para todas as bandas, porque é assumido que as bandas de um sensor são perfeitamente co-registradas em coordenadas de linhas e colunas. O processo de correção é realizado em duas etapas: (i) a primeira etapa consiste em determinar a correta localização espacial de um pixel na imagem distorcida; (ii) a segunda etapa consiste em computar o novo valor de brilho para o pixel na imagem de saída corrigida, por meio de reamostragem ou interpolação de pixels da imagem original (Meneses & Almeida, 2012).

Após georreferenciar as imagens, une-se elas em uma única imagem gerando o mosaico da área. A geração de mosaicos automáticos a partir de imagens digitais de alta resolução é uma ferramenta muito importante, porque aumenta a eficiência na obtenção dos resultados e ajuda nas tomadas de decisão. Na agricultura, mosaicos automáticos de imagens de áreas de floresta e de cultivo, ajudam diferentes aplicações na agricultura de precisão que necessitam obter respostas de maneira rápida.

13.5 Potencialidades da utilização de RPAS na agricultura

A janela de tempo para obter as imagens necessárias é geralmente muito pequena para os cultivos agrícolas, ou seja, a disponibilidade de imagens em estágios críticos da cultura são algumas das principais limitações por parte

AP. Por esta e outras razões, que os RPAS têm sido empregados principalmente para pesquisas de imagens procurando identificar os períodos críticos da cultura visando otimizar o manejo da mesma.

Como discutido anteriormente, o primeiro relato do uso de RPAS na agricultura ocorreu como uma forma de substituição de trabalhos operacionais, como é o caso da aplicação de defensivos agrícolas. Contudo essa utilização, restringiu-se a dimensão da área aplicada, pois o RPAS torna-se ineficiente em áreas com dimensão maior devido a limitação operacionais do próprio RPAS, principalmente pela baixa capacidade de suporte de carga (aumento do número de voos). Esse empasse, porém, abriu caminho nas descobertas de outras formas dessa tecnologia ser utilizada. Um enfoque importante, foi quando se adaptou câmeras simples ou RGB (comprimentos de onda vermelho, verde e azul) em RPAS. A partir disso, uma gama de outras aplicações foram adequadas, sendo ainda utilizadas atualmente para o setor agrícola.

A utilização de câmeras RGBs deu início ao conceito de “ver por cima”, que consiste em realizar vistorias rotineiras na lavoura, como falhas de plantas, focos de doenças, processos erosivos entre outras aplicações. Essa ferramenta passou a ser utilizada baseando-se nos conceitos básicos do sensoriamento remoto. Um exemplo de utilização de câmera RGB pode ser visualizado na figura x, em um estudo de caso em uma área de lavoura comercial buscando identificar falhas no plantio na cultura da cana-de-açúcar. Nesse exemplo foi possível identificar falhas >1,5 m (Figura 10a) e >0,5 m (Figura 10b).

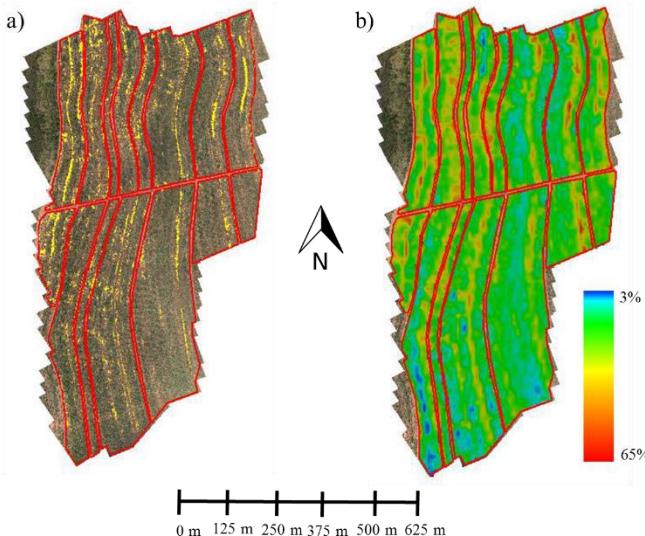


Figura 10 Porcentagem de falhas de plantio na cultura da cana-de-açúcar com (a) >1,5 m e (b) >0,5 m. Fonte: Adptado de DRONEENG, (2016).

Como relatado anteriormente, o conceito “ver por cima” foi um processo revolucionário na agricultura, em que câmeras simples proporcionaram uma maior eficiência no que tange as atividades práticas a nível de lavoura. Nesse enfoque, houve também uma maior tendência a aprimorar o sistema de coleta de informações na agricultura, passando também a utilizar-se sensores ópticos embarcados nos RPAS. Essa idéia culminou em um momento em que a agricultura estava no auge do foco de pesquisas com sensores de vegetação, principalmente impulsionados pela temática do manejo do nitrogênio (N). A adaptação de sensores vegetação em RPAS, teve uma maior aceitação pelo fato de que as leituras com os mesmos normalmente são feitas manualmente pelo usuário, ou em certos casos, são adaptados nas máquinas agrícolas no momento da aplicação de insumos, o que apresentam a limitação, de leituras que necessitam ser feitas em outros estágios da cultura sem afetar a logística operacional das máquinas e o aumento de custos com combustível.

13.5.1 Estudos com RPAS conduzidos pela grupo LapSul

A adaptação de sensores ópticos em RPAS iniciou, em um curto espaço de tempo, um novo nicho de pesquisa para essa tecnologia na agricultura. Várias pesquisas a partir disso puderam evoluir com sensores ópticos na agricultura embarcados nos RPAS, como é o caso das pesquisas com essa ferramenta realizadas pelo grupo LapSul (Laboratório de Agricultura de Precisão) da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen. O grupo LapSul iniciou os estudos em 2015 com o principal objetivo de utilizar os RPAS como uma ferramenta para avaliar a qualidade do sistema plantio direto (SPD). A justificativa para esse estudo parte do pressuposto de que as culturas de cobertura no inverno (principal janela de aberta pelo produtor para o cultivo de plantas de cobertura que visem incrementar sistemas de rotação), também causam variabilidade na cultura de verão, seja essa de ordem química física ou biológica.

O estudo foi conduzido em uma área de 74 ha, cultivada sob SPD há mais de 20 anos, localizada no município de Boa Vista das Missões, RS, Brasil (27°71'66"S a 27°72'55"S e 53°33'13"W a 53°34'08"W). O clima da região é subtropical úmido com verão quente, tipo Cfa, com máximas iguais ou superiores a 22°C, mínimas entre -3 a 18°C e precipitação média anual entre 1.900 e 2.200 mm (Alvares et al., 2013). O solo presente na área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho (Santos et al., 2013), com textura muito argilosa. No período do estudo a área apresentava como cultura de cobertura a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.), sendo essa cultura, a mais amplamente utilizada no inverno em esquemas de rotações no RS. Inicialmente a área foi dividida por meio de uma malha amostral quadricular de 70,71 x 70,71 m, resultando em 147 pontos de amostragem (Figura 11a). Em cada ponto de amostragem procedeu-se a coleta de massa seca da cultura da aveia preta quando estava na maturação

fisiológica. A coleta foi realizada utilizando um quadro de 0,25 m², sendo feitas três repetições por ponto amostral (Figura 11b).

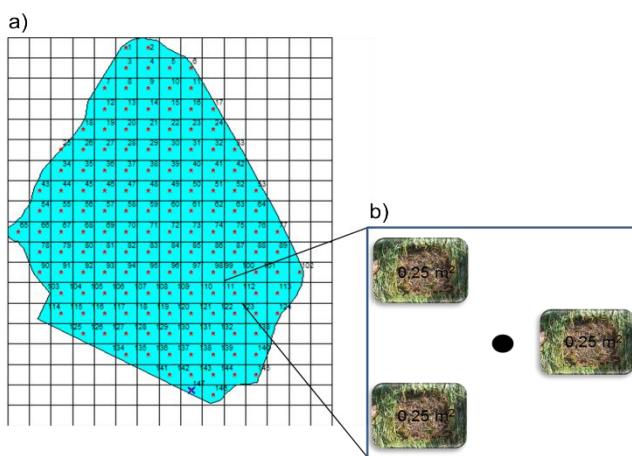


Figura 11 Sobreposição de uma malha amostral quadricular de 70,71 x 70,71 m (a) e a representação dos pontos de coleta de aveia no grid de amostragem (b).

Posteriormente as amostras foram conduzidas para estufa à temperatura de 65°C até atingir massa constante, sendo então, aferidas em balança com precisão de 0,01 g e os valores foram extrapolados para Mg ha⁻¹. Sob a cobertura da aveia preta, foi semeada no dia 16/11/2015, a cultura da soja. Quando a soja estava no estágio R5 (Figura 12b), procedeu-se o voo com o RPA em que foi calculado o índice de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). A aeronave utilizada é classificada como sendo de asa fixa (Figura 12a), equipada com uma câmera Canon S110 modificada, sendo o voo realizado a 200m de altura, o que proporcionou um pixel de 7,66 cm. Para o processamento das imagens e elaboração do ortomosaico utilizou-se o Software Pix4Dmapper. No mesmo momento do voo com o RPAS, realizou-se também a avaliação, segundo o pontos definido pela malha de amostragem, de NDVI com o equipamento GreenSeeker® a fim de comparar os valores de NDVI gerados com o RPAS. O mapa de distribuição espacial da massa seca da aveia preta foi gerado com o software Surfer 10. Como não foi realizada a análise geoestatística prévia dos dados utilizou-se o interpolador inverso do quadrado da distância para gerar o mapa de distribuição espacial da massa seca da aveia preta.

Com os resultados da Tabela 1 pode-se constatar que a hipótese de distribuição normal dos valores de NDVI do voo com o RPAS, NDVI das leituras com o GreenSeeker e da massa seca da cultura da aveia preta foi rejeitada, o que confere com os valores dos coeficientes de assimetria e curtose afastados de zero, observando a tendência dos valores para distribuições lognormais, fato

comprovado pelo teste de W a 5% de significância. O CV foi de 26,37 %, 19,78 e 8,6 para os valores de NDVI do voo com o RPAS, NDVI das leituras com o GreenSeeker e da massa seca da cultura da aveia preta respectivamente, sendo classificados como moderado, moderada e baixa segundo a classificação proposta por Wilding & Drees, (1983).

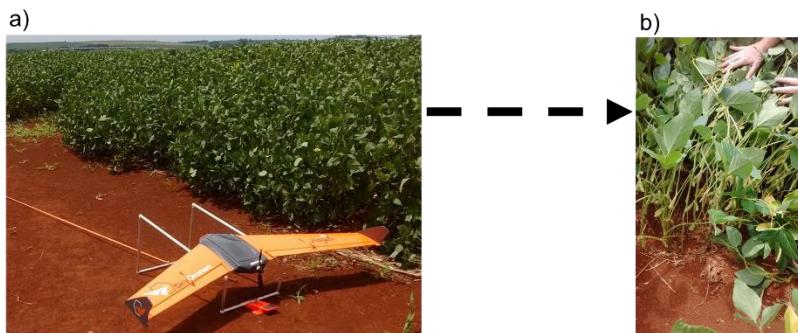


Figura 12 Modelo do RPA utilizado no estudo (a) e a representação do estágio da cultura da soja no momento do voo (b).

A amplitude dos valores de massa seca variaram de 2,22 a 7,72 Mg ha⁻¹. Como análise inicial, pode-se inferir que existe variação da produtividade de massa seca em áreas cultivadas em SPD, sendo esse um fator que deve ser levado em consideração em áreas manejadas com a AP, principalmente no que se refere aos chamados “Planos de Manejo Inteligente (PMI)”, que consistem em planos de manejo com plantas de cobertura que visam a gestão de áreas que demandam de tratamento diferenciado, segundo os fatores químicos, físicos e biológicos do solo.

Tabela 1. Estatística descritiva dos valores do NDVI do voo com o RPAS (NDVIRPAS); NDVI das leituras com o GreenSeeker (NDVIGS) e da massa seca da cultura da aveia preta.

Variável	Mínimo	Média	Máximo	CV% ¹	DP ²	Cs ³	Ck ⁴	W ⁵
Massa Seca	2,22	4,50	7,72	26,37	1,18	0,54	-0,27	0,96*
NDVIRPAS	0,21	0,46	0,59	19,78	0,09	-1,22	0,35	0,81*
NDVIGS	0,54	0,81	0,91	8,6	0,07	-1,12	1,47	0,90*

¹ Coeficiente de variação; ² Desvio Padrão; ³ Coeficiente de assimetria; ⁴ Coeficiente de curtose; ⁵ Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: * significativo em níveis de $p < 0,05$. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Para os valores de NDVI gerado pelo RPAS e do NDVI gerado com GreenSeeker® as amplitudes variaram de 0,21 a 0,59 e 0,54 a 0,91 respectivamente. Esses resultados demostram que os valores de NDVI gerados com RPAS foram mais baixos que o NDVI gerado com GreenSeeker®, o que remete ao fato de que o GreenSeeker® é mais influenciado pela altura de avaliação, podendo variar durante as avaliações.

A partir da Figura 13, pode-se comparar o mapa de distribuição espacial de massa seca da cultura da aveia preta com o mapa de NDVI obtido com o RPA na cultura da soja quando a mesma encontrava-se no estágio R5. Com isso, pode-se constatar que houve zonas onde a maior produtividade de massa seca coincidiu com os maiores valores de NDVI. Essa relação visual demonstra que pode existir uma influência da variação da massa seca oriunda da cultura antecessora na cultura principal em SPD, nesse caso da variação da massa seca da cultura da aveia preta sob a cultura da soja.

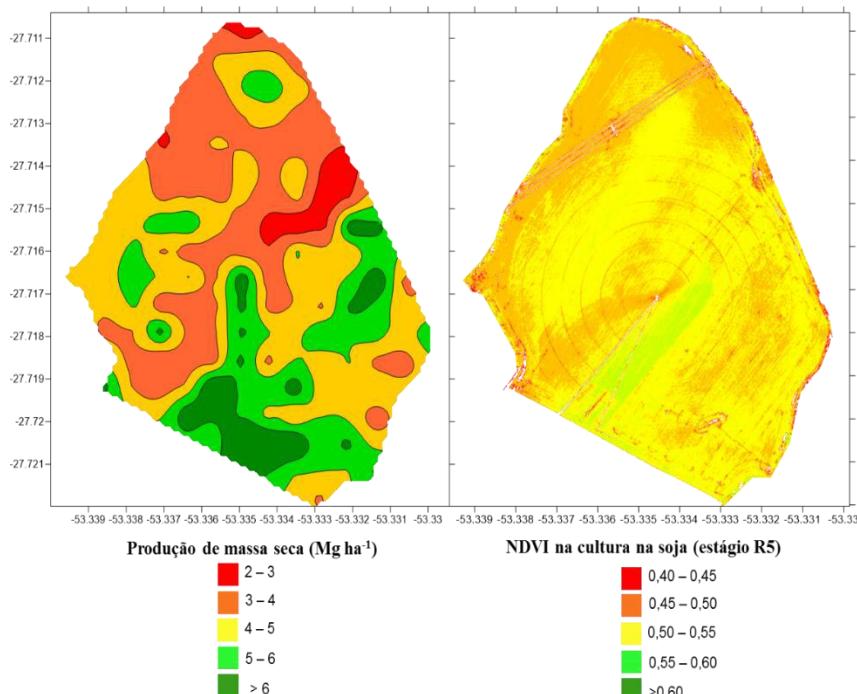


Figura 13 Mapa da distribuição espacial de massa seca da cultura da aveia preta e do NDVI realizado com o RPA na cultura da soja.

Existem diferentes hipóteses sobre essa influência, em que pode-se destacar: a) a massa seca pode estar influenciando os atributos químicos, físicos

e biológicos do solo e/ou esses podem estar influenciando a quantidade de massa seca produzida; b) a produtividade de massa seca pode estar relacionada a histórico da área mediante as chamadas zonas de manejo e; c) esse efeito pode ser devido a ciclagem de nutrientes que a massa seca está proporcionando a cultura da soja. Entre as hipóteses apresentadas, a última pode ser a mais apropriada devido ao fato de que aveia preta é eficiente na reciclagem de nutrientes, em que a mesma extrai os nutrientes das camadas mais profundas do solo, por meio do sistema radicular, disponibilizando-os superficialmente pela parte aérea (Bortolini et al., 2000).

Conforme discutido anteriormente com na Tabela 1, os valores de NDVI gerado com o GreenSeeker® foram em geral mais altos do que o NDVI gerado com o RPAS, o que indica uma diferença apenas em magnitude, contudo como observa-se na Figura 14 houve a tendência de os valores serem semelhantes quanto as suas distribuições nos pontos de amostragem. Em geral os dados apresentaram dispersão até o ponto 80, sendo que após isso os dados estabilizaram. Esses resultados permitem inferir que o NDVI gerado com o RPAS é representativo de leituras de NDVI realizadas *in loco*.

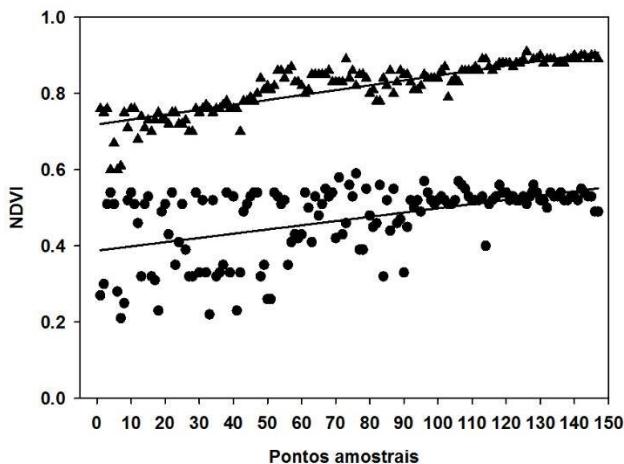


Figura 14. Distribuição dos valores de NDVI gerado com o RPAS (●) e do NDVI gerado com o GreenSeeker® (▲) nos 147 pontos amostrais.

13.6 Considerações finais e Perspectivas Futuras

Os RPAS apesar de ser uma tecnologia recentemente nova, está sendo e será uma ferramenta muito empregada nos mais diversos setores da economia da mundial, inclusive no setor agrícola. As perspectivas para o uso dessas tecnologias na agricultura são animadoras, onde os benefícios podem ir além do

econômico, ou seja, podem representar uma nova forma de fazer agricultura, principalmente na atualidade onde a tomada de decisão deve ser criteriosa e em um curto espaço.

Mesmo sendo uma tecnologia que tende a ser uma ferramenta valiosa nas suas mais diversas aplicabilidades na agricultura, os RPAS não vão substituir o trabalho humano, muito pelo contrário, na agricultura ou demais setores, o uso dos RPAS demandara de uma gama de profissionais que sejam especializados nas mais diversas áreas de geociências das quais os mesmos são originários.

Ainda são poucos os trabalhos que busquem expressar a funcionalidade e a aplicabilidade dessa tecnologia na agricultura, porém, como é o caso do estudo aqui apresentado, vários pesquisadores e grupos de pesquisas estão buscando aprofundar-se nessa área do conhecimento como é o caso dos trabalhos aqui apresentados. A principal dificuldade está principalmente na regulamentação na legislação dos RPAS, mas também uma grande parcela denota do fato de que essa tecnologia demanda do conhecimento de várias áreas, ou seja, para realizar uma operação de realizar o levantamento do NDVI em uma lavoura de milho, o profissional necessitara ter o conhecimento sobre a área das geociências, conhecimento agronômico para interpretar os resultados e também ter a capacitação para trabalhar como os dados gerados. Contudo apesar de parecer difícil, é normal em qualquer processo tecnológico e essas operações tendem a profissionalizar o setor agrícola, em que profissionais mais bem preparados serão demandados para trabalhar com essa tecnologia.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Mestrado por parte do primeiro autor. Agradecer a empresa GEOCAMP em nome de Vinícius Luiz Eschner pelos voos realizados com o RPAS e ao Grupo Schaedler em nome de Eliseu Schaedler e Carlos Eduardo da Silva Dauve pela disponibilização da área experimental e auxílio prestados durante a execução da pesquisa.

Literatura citada

ALVARES, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Moraes, J. L.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013.

BRANDÃO, M. P.; GOMES, V. A.; D'OLIVEIRA, F. A.; BUENO, A. E. **UAV Activities in Brazil**. First Latin-American UAV Conference, Panama, 2007.

BARET, F.; HOULÈS, V.; GUÉRIF, M. Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, 2007, p. 869-990, 2007.

BOISSARD, P.; POINTEL, J.G.; TRANCHEFORT, J. Estimation of the Ground Cover Ratio of a Wheat Canopy Using Radiometry. **International Journal Remote Sensing**, v.13, p.1681-1692, 1992.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. Efeito de resíduos de plantas jovens de aveia preta em cobertura de solo no crescimento inicial do milho. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 6, p. 83-88, 2000.

COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 92, p.79-97, 2014.

CUNHA, C. A. H. da. **Comportamento espectral e características agronômicas da cultura do feijão irrigada com diferentes lâminas de água**. 2000. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

DINGUIRARD, M.; SLATER, P. N. Calibration of space-multispectral imaging sensors: A review. **Remote Sensing of Environment**, v. 68, p.194-205, 1999.

DRONEENG. **Caso de sucesso: utilização dos drones na cana-de-açúcar**. Sao Paulo: DRONENG. 2015. 35 p.

FREITAS, R.M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; FERREIRA, A. S.; SATO, F. Y.; SHIMABUKURO, Y. E.; ROSA, R. R.; ANDERSON, L. O.; RUDORFF, B. F. T. Virtual laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v.2, p.57-68, 2011.

FONTES, L. C. **Fundamentos de Aerofotogrametria**. Universidade Federal da Bahia-UFBA. Tecnicas de geomensura. 2005. 18 p

GRANADOS, F. L.; SÁNCHEZ, J. T.; PÉREZ, A. S.; CASTRO, A. I.; CARRASCOSA, F. J. M.; PEÑA, J. M. Early season weed mapping in sunflower using UAV technology: variability of herbicide treatment maps against weed thresholds. **Precision Agriculture**, v.16, p.1-17, 2015.

GPS4US. **Global positioning and geographic information systems help create an environmentally friendly farm**. Post. Los Angeles, USA, 2011. Disponível em: <<http://www.gps4us.com/news/post/Global-positioning-and-geographic-information-systems-help-create-an-environmentally-friendly-farm-20111228.aspx>>. Acesso em: 12/02/2016.

HERWITZ, S. R.; JOHNSON, L. F.; DUNAGAN, S. E.; HIGGINS, R. G.; SULLIVAN, D. V.; ZHENG, J.; LOBIT, B. M.; LEUNG, J. G.; GALLMEYER, B. A.;

AOYAGI, M.; SLYE, R. E.; BRASS, J. A. Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.44, p.49-61, 2004.

HONKAVAARA, E., J. PELTONIEMI, E. AHOKAS, R. KUUTTINEN, J. HYYPÄÄ, J. JAAKKOLA, H. KAARTINEN, L. MARKELIN, K. NURMINEN, J. SUOMALAINEN. A permanent test field for digital photogrammetric systems. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 74, p. 95-106, 2008.

HONKAVAARA, E.; ARBIOL, R.; MARKELIN, L.; MARTINEZ, L.; CRAMER, M.; BOVET, S.; CHANDELIER, L.; ILVES, R.; KLONUS, S.; MARSHAL, P.; SCHLÄPER, D.; TABOR, M.; THOM, C.; VEJE, N. Digital airbone photogrammetryA new tool for quantitative remote sensing?- A state-of-the-art review on radiometric aspects of digital photogrammetric images. **Remote Sensing**, v.1, p. 577-605, 2009.

HARGRAVE. **Aviation and Aeromodelling – Interdependent Evolutions and Histories**. Pandora: Australia's National Library, Australia, 2005. Disponível em: <http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav_radioplane2.html>. Acesso em: 18/02/2016.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2 ed. University of South: Parêntese. 2009. 672 p.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; JAIME, A. L. G. Correção radiométrica de imagens digitais aéreas para o efeito vinhet. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 56/01, p. 65-74, 2004.

LAVARDA, F. **Correlação entre imagens aéreas e leituras de sensores ópticos ativos na quantificação de ndvi de dosséis de trigo submetidos a diferentes estratégias de manejo**. Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia – Universidade de Passo Fundo, UPF, 2014.

MARKETSANDMARKETS. **Unmanned Aerial Vehicle Market (2015–2018)**. Technical Report. MarketsandMarkets. Dallas, USA, 2015. Disponível em: <<http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/unmanned-aerial-vehicles-uav-market-662.html>>. Acesso em: 05/02/2016.

MOREIRA, M. A. **Déficit hídrico na cultura do trigo e o impacto na resposta espectral e em parâmetros agronômicos**. 1997. 142f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2012. 276 p.

OLIVEIRA, F. A. **CTA e o Projeto Vant**. In: 1º Seminário Internacional de Vant. São Jose dos Campos, 2005.

POVH, F. P. **Gestão da adubação nitrogenada em milho utilizando sensoriamento remoto**, 2011. 107 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PEDROTTI, E. **Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para caracterização do perfil NDVI em dosséis de trigo submetidos a diferentes estratégias de manejo**. Trabalho de Conclusão de Curso em Agronomia – Universidade de Passo Fundo, UPF, 2014.

PONZONI, F. J.; JUNIOR, Z. J.; LAMPARELLI, R. A. C. **Calibração absoluta de sensores orbitais: conceituação, principais procedimentos e aplicação**. São José dos Campos: Paréntese, 2007, 64 p.

PINA, M. F.; SANTOS, S. M. **Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à Saúde**. OPAS, Brasília, 2000, 121 p.

RISSO, J.; RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHAMIO, R. D. V. Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1317-1326, 2012.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, Washington, 1973. Proceedings... Whashington: NASA, 1974, v.1, p.309-317, 1973.

RUDORFF, B. F. T.; MOREIRA, A. M.; OVIEDO, A.; FREITAS, J. G. **Efeito do nitrogênio e do déficit hídrico na resposta espectral de cultivares de trigo**. In: SIMPOSIO LATINO AMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA. 1997, Mérida, Anais... Mérida: Venezuela, 1997. CD-ROM.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de (Ed.).

Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SERRANO, L.; FILELLA, I.; PENUELAS, J. Remote sensing of biomass and yield of inter wheat under different nitrogen supplies. **Crop Science**, v. 40, p. 723-731, 2000.

TUMBO, S. D.; WAGNER, D. G.; HEINEMANN, P. H. Hyperspectral characteristics of corn plants under different chlorophyll levels. **Transactions of the ASAE**, v. 45, p. 815-823, 2002.

TUCKER, C. J.; HOLBEN, B. N.; ELGIN J. J. H.; MCMURTREY, J. E. Remote Sensing of Total Dry-Matter Accumulation in Winter Wheat. **Remote Sensing of Environment**, v.11, p.171-189, 1981.

TURNER, C. L.; SEASTEDT, T. R.; DYER, M. I. Effects of management and topography on the radiometric response of a tallgrass prairie. **Journal of Geophysical Research**, v.97, n.17, p.18855-18866, 1992.

VALENTE, J.; SANZ, D.; BARRIENTOS, A.; CERRO, J.; ROSSI, A. R. An Air-Ground Wireless Sensor Network for Crop Monitoring. **Sensors**. v. 11, p.6088-6108, 2011.

YAMAHA. **Yamaha autonomous-flight unmanned helicopter deployed for observation illegal dumping around mt. fuji**. Yamaha: Shizuoka, Japan, 2002. Disponível em: < <http://global.yamaha-motor.com>>. Acesso em: 20/01/2016.

WILDING, L.P.; DREES, L.R. **Spatial variability and pedology**. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; HALL, G.F. (Ed.). Pedogenesis and soil taxonomy. I. Concepts and Interactions. Amsterdam: Elsevier, p.83-116. 1983.

WAHEED, T.; BONNELL, R. B.; PRASCHER, S. O.; PAULET, E. Measuring performance in precision agriculture: CART – A decision tree approach. **Agricultural Water Management**. v. 84, p.173–185, 2006

CESPOL

Santa Maria, RS / 2016

